

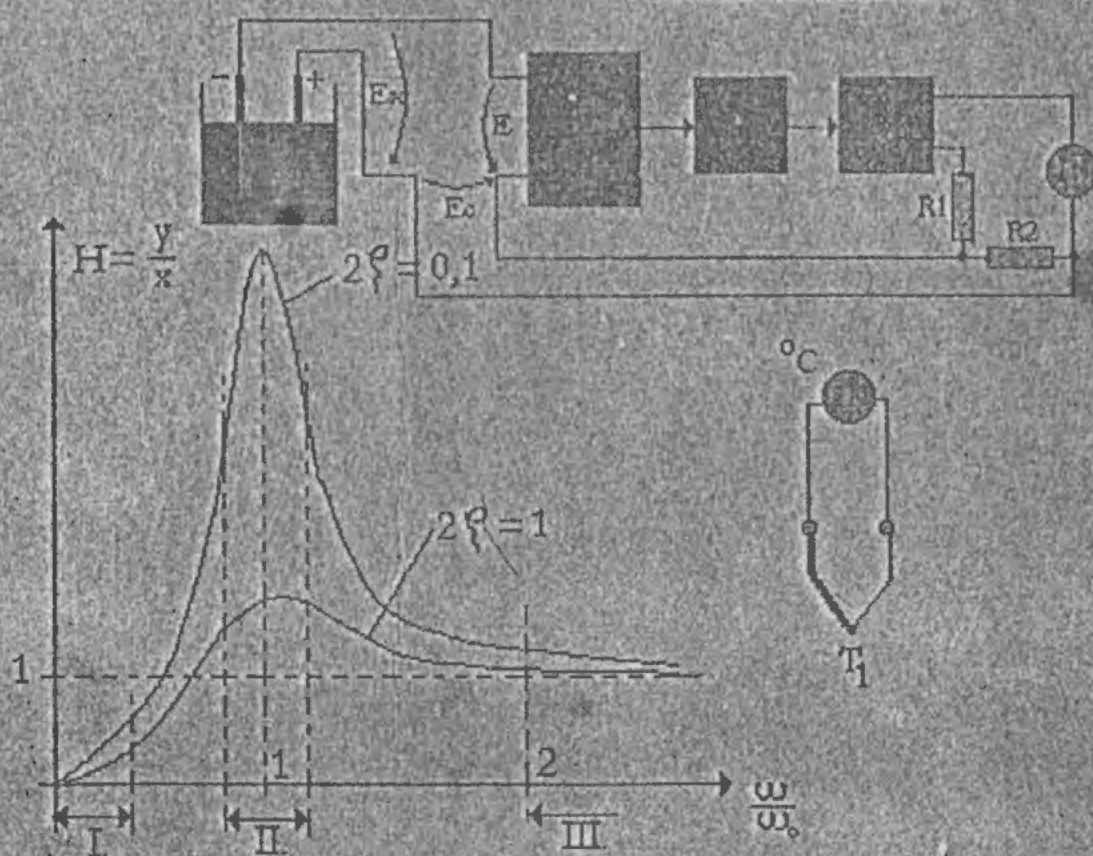
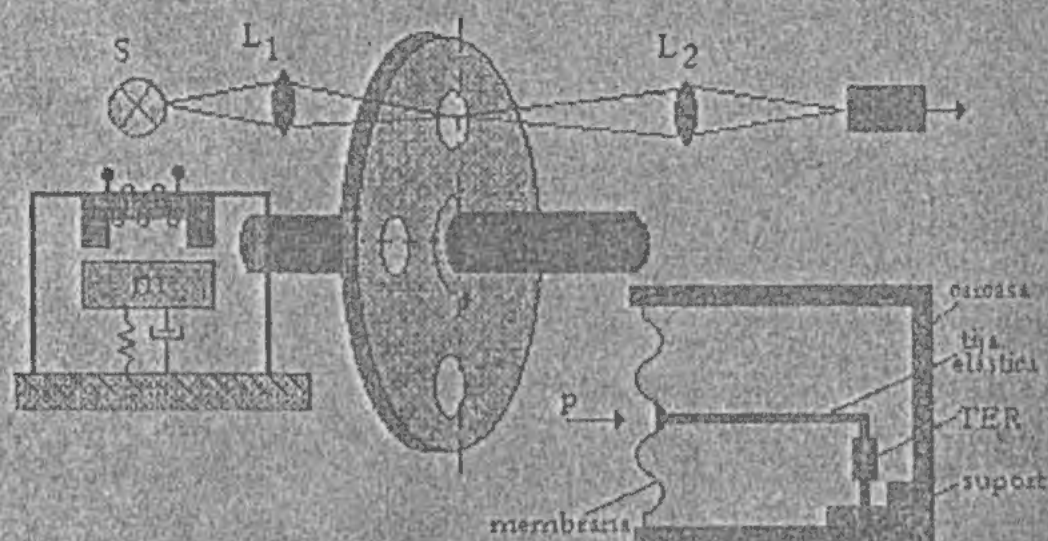
III 16017



MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE  
UNIVERSITATEA  
*Petru Maior*  
TÂRGU-MUREȘ

ÁGOSTON KATALIN

# SENZORI SI TRADUCTOARE



2001



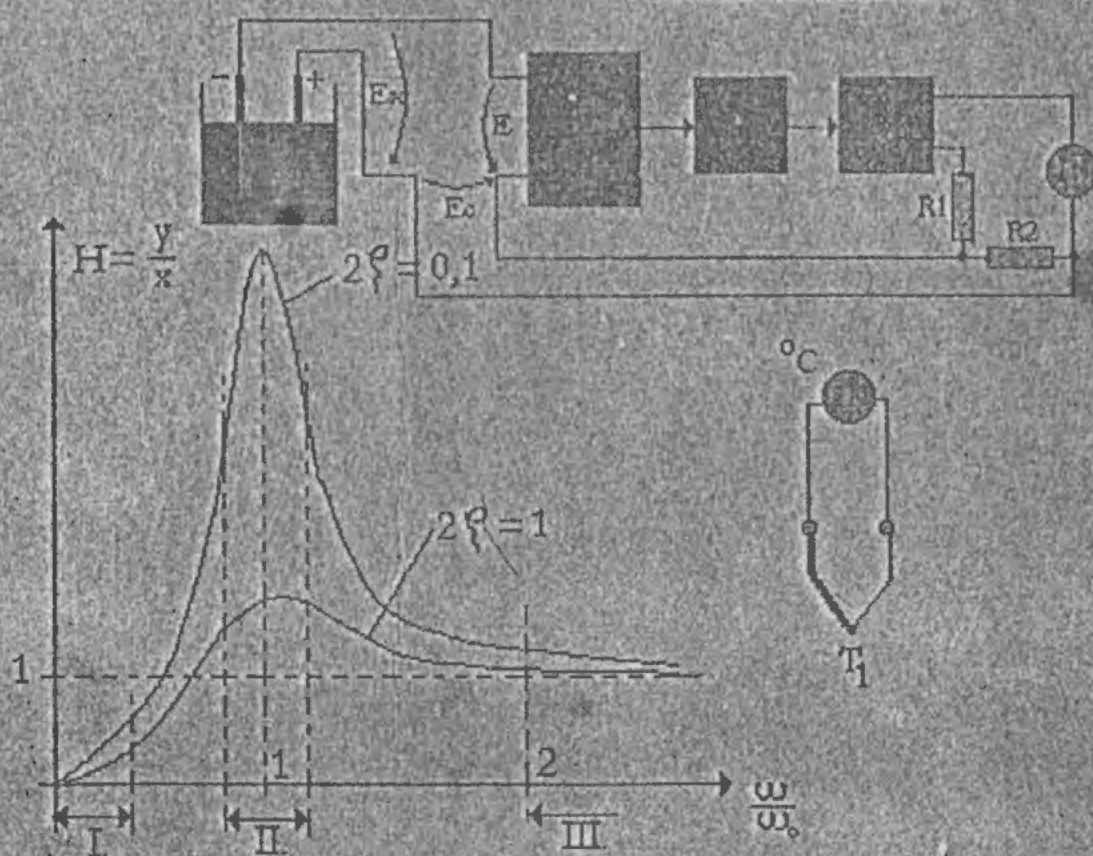
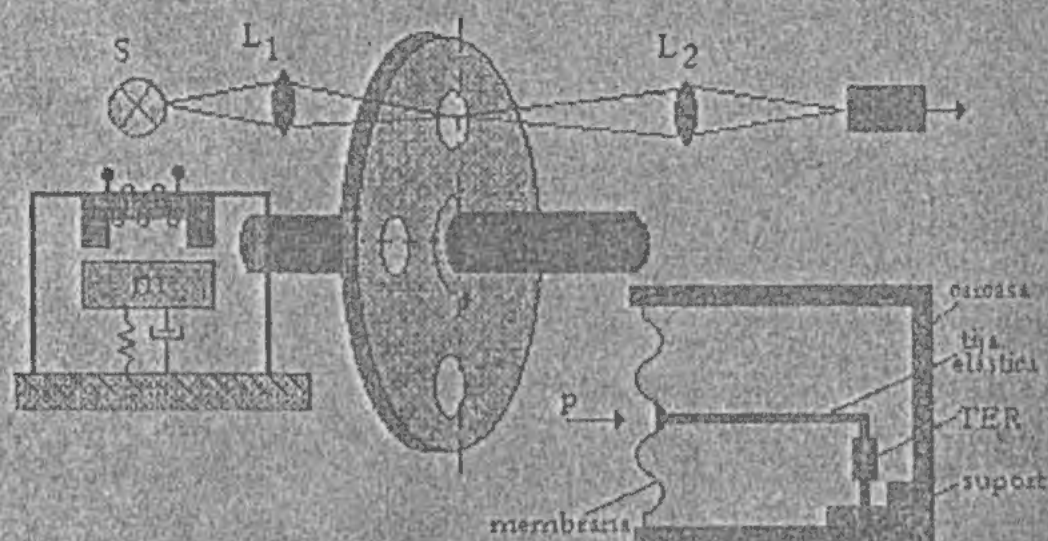
III 16017



MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE  
UNIVERSITATEA  
*Petru Maior*  
TÂRGU-MUREȘ

ÁGOSTON KATALIN

# SENZORI SI TRADUCTOARE



2001

onți științifici: Conf.dr.ing. Dávid László, Universitatea Petru Maior din Tg.Mureș  
 Facultatea de Inginerie, Catedra de Inginerie Electrică  
 Conf.dr.ing. I. Diaconescu, Universitatea Petru Maior din Tg.Mureș  
 Facultatea de Inginerie, Catedra de Inginerie Electrică

ducerea integrală sau parțială a textului sau a ilustrațiilor din această lucrare este  
 lă numai cu acordul scris al autorului.

redactare computerizată: Autoarea  
 ura: Autoarea  
 ublicare: Petru Pop  
 orie: Fazakas Elisabeta

: tipar: 15.09.2001 Tiraj: 27  
 681.586 (075.8)

d executat la Universitatea "Petru Maior" Târgu Mureș

## CUPRINS

Cap. 1. Generalități	5
1.1. Rolul și locul traductoarelor în sistemele de măsură	5
1.2. Structura generală a traductoarelor	7
✓ 1.3. Caracteristicile și performanțele traductoarelor	11
✓ Cap. 2. Traductoare de temperatură	18
✓ 2.1. Elemente sensibile pentru măsurarea temperaturii	19
✓ Tranzistorul	19
✓ Dioda	20
✓ Termorezistențe	21
✓ Termistoarele	23
✓ Traductoare de cuarț	24
✓ Termocupluri	25
✓ Traductoare magnetice	26
✓ Traductoare pirometrice. Pirometrie optică	27
✓ 2.2. Aparate de măsură pentru traductoare de temperatură	30
✓ Cap. 3. Traductoare pentru mărimi geometrice	38
✓ 3.1. Traductoare pentru deplasări liniare mici	38
Circuite de măsurare pentru traductoare de deplasare liniară	46
✓ 3.2. Traductoare pentru deplasări unghiulare	50
✓ 3.3. Traductoare pentru deplasări liniare mari	57
✓ 3.4. Traductoare de proximitate	61
✓ 3.5. Traductoare pentru măsurarea grosimilor	64
✓ Cap. 4. Traductoare de nivel	70
4.1. Traductoare rezistive de nivel	70
4.2. Traductoare inductive de nivel	71
4.3. Traductoare capacitive de nivel	72
✓ Cap. 5. Traductoare de radiații	74
5.1. Traductoare pentru radiații luminoase	74
✓ 5.2. Traductoare pentru radiații nucleare	79
✓ Cap. 6. Traductoare de deformății	83
6.1. Circuite electrice pentru măsurări tensometrice	85
	86



onți științifici: Conf.dr.ing. Dávid László, Universitatea Petru Maior din Tg.Mureș  
 Facultatea de Inginerie, Catedra de Inginerie Electrică  
 Conf.dr.ing. I. Diaconescu, Universitatea Petru Maior din Tg.Mureș  
 Facultatea de Inginerie, Catedra de Inginerie Electrică

ducerea integrală sau parțială a textului sau a ilustrațiilor din această lucrare este  
 lă numai cu acordul scris al autorului.

redactare computerizată: Autoarea  
 ura: Autoarea  
 ublicare: Petru Pop  
 orie: Fazakas Elisabeta

: tipar: 15.09.2001 Tiraj: 27  
 681.586 (075.8)

d executat la Universitatea "Petru Maior" Târgu Mureș

## CUPRINS

Cap. 1. Generalități	5
1.1. Rolul și locul traductoarelor în sistemele de măsură	5
1.2. Structura generală a traductoarelor	7
✓ 1.3. Caracteristicile și performanțele traductoarelor	11
✓ Cap. 2. Traductoare de temperatură	18
✓ 2.1. Elemente sensibile pentru măsurarea temperaturii	19
✓ Tranzistorul	19
✓ Dioda	20
✓ Termorezistențe	21
✓ Termistoarele	23
✓ Traductoare de cuarț	24
✓ Termocupluri	25
✓ Traductoare magnetice	26
✓ Traductoare pirometrice. Pirometrie optică	27
✓ 2.2. Aparate de măsură pentru traductoare de temperatură	30
✓ Cap. 3. Traductoare pentru mărimi geometrice	38
✓ 3.1. Traductoare pentru deplasări liniare mici	38
Circuite de măsurare pentru traductoare de deplasare liniară	46
✓ 3.2. Traductoare pentru deplasări unghiulare	50
✓ 3.3. Traductoare pentru deplasări liniare mari	57
✓ 3.4. Traductoare de proximitate	61
✓ 3.5. Traductoare pentru măsurarea grosimilor	64
+ cu ultrasunete; de așchiere de radiografie	
✓ Cap. 4. Traductoare de nivel	70
4.1. Traductoare rezistive de nivel	70
4.2. Traductoare inductive de nivel	71
4.3. Traductoare capacitive de nivel	72
✓ Cap. 5. Traductoare de radiații	74
5.1. Traductoare pentru radiații luminoase	74
✓ 5.2. Traductoare pentru radiații nucleare	79
✓ Cap. 6. Traductoare de deformății	83
6.1. Circuite electrice pentru măsurări tensometrice	85
	86

7. Traductoare pentru forțe și momente	90
7.1. Traductoare tip tensorezistiv	90
7.2. Traductoare cu coardă vibrantă	92
7.3. Traductoare magnetostrictive	94
7.4. Traductoare piezoelectrice	95
7.5. Traductoare inductive	95
7.6. Traductoare capacitive pentru forțe	95
7.7. Traductoare cu discuri incrementale	96
8. Traductoare de vibrații și accelerații	97
8.1. Adaptoare pentru traductoare de vibrații	103
9. Traductoare de viteză	106
9.1. Traductoare de rotație	107
9.2. Traductoare de viteză liniară	112
9.3. Metode moderne de măsurarea vitezelor	113
9.4. Adaptoare numerice folosite la măsurarea vitezelor	113
10. Traductoare de debit	116
10.1. Debitmetre cu traductor rezistiv	117
10.2. Debitmetre cu inducție	117
10.3. Debitmetre cu ultrasunete	117
10.4. Debitmetre cu laser	119
10.5. Debitmetre termice	119
10.6. Debitmetre cu traductoare digitale	120
10.7. Debitmetre cu corp plutitor	121
10.8. Debitmetre cu traductor Hall	121
10.9. Debitmetre radiometrice	122
11. Traductoare de presiune	123
11.1. Traductoare de presiune cu elemente sensibile elastice	124
11.2. Dispozitive de conversie pentru elemente sensibile elastice	128
11.3. Adaptoare pentru elemente sensibile elastice	130
11.4. Traductoare de presiune cu elemente piezorezistive	130
11.5. Traductoare de presiune piezoelectrice	131
12. Traductoare pH-metrice	133
12.1. pH-metre	134
Aparate cu citire directă	135
Aparate de măsurare cu compensare	135
13. Traductoare de umiditate	137
13.1. Traductoare rezistive	137
13.2. Traductoare capacitive	137
13.3. Traductoare cu microunde	139
14. Grafie	140

## Capitolul 1.

### GENERALITĂȚI

#### 1.1. Rolul și locul traductoarelor în sistemele de măsură

Senzorii și traductoarele sunt părți importante al lanțului de măsurare, care determină în mod hotărâtor precizia măsurării. Pentru cunoașterea fenomenelor, proceselor din jur, respectiv pentru controlarea acestora se fac măsurători de diferite tipuri: de precizie, de verificare sau măsurări generale care furnizează informații orientative. În funcție de scopul urmărit lanțul de măsurare poate fi mai simplu sau mai complicat, mai precis sau mai puțin precis, poate fi în buclă deschisă sau în buclă închisă, când pe baza măsurărilor se fac reglări asupra fenomenelor.

Lanțul de măsurare poate fi folosit pentru mai multe scopuri cum ar fi urmărirea, observarea, analiza, reglarea, experimentarea fenomenelor, din diverse domenii (construcție, industria de alimentare, procese chimice, construcția de mașini, urmărirea compoziției solului sau a aerului, urmărirea traficului, etc.). Diversitatea fenomenelor și proceselor de urmărit, respectiv de reglat fac necesar realizarea unor sisteme de măsurare care sunt nu numai adecvate dar permit și o interschimbabilitate ușoară a blocurilor componente, o mare flexibilitate. Marea majoritate a blocurilor componente a sistemelor de măsurare lucrează cu mărimi electrice, dar mărimile de intrare sunt preponderent neelectrice. Acestea fac necesar utilizarea senzorilor și traductoarelor, care au rolul de a transforma mărimea neelectrică într-o mărime electrică corespunzătoare.

Alegerea și utilizarea senzorului sau traductorului nu este ușor, trebuie să avem niște cunoștințe apriorii despre fenomenul de studiat, sau reglat.

Lanțul de măsurare poate fi analogic (fig. 1.1.) sau digital (fig. 1.2.), în funcție de modul de achiziție, prelucrare, vizualizare și reglare.

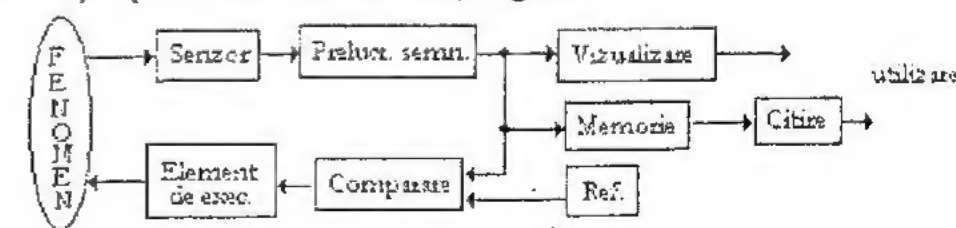


fig. 1.1.

În cazul lanțului de măsurare analogic senzorul transformă mărimea neelectrică de studiat (presiune, temperatură, debit, deplasare, tensiuni interne, etc.) într-o tensiune proporțională cu mărimea studiată. Blocul de prelucrare a semnalelor realizează o amplificare, o adaptare a impedanțelor, o transformare în semnal unificat, care permite interschimbabilitatea blocurilor în cazul defectărilor. Vizualizarea poate fi cu instrumente analogice (de ex. magnetoelectrice), sau electronic (afișaj șapte segmente, cu cristale lichide, cu șir de leduri, etc.). Memorarea poate fi o înregistrare mecanică sau

<b>7. Traductoare pentru forțe și momente</b>	90
7.1. Traductoare tip tensorezistiv	90
7.2. Traductoare cu coardă vibrantă	92
7.3. Traductoare magnetostrictive	94
7.4. Traductoare piezoelectrice	95
7.5. Traductoare inductive	95
7.6. Traductoare capacitive pentru forțe	95
7.7. Traductoare cu discuri incrementale	96
<b>8. Traductoare de vibrații și accelerații</b>	97
8.1. Adaptoare pentru traductoare de vibrații	103
<b>9. Traductoare de viteză</b>	106
9.1. Traductoare de rotație	107
9.2. Traductoare de viteză liniară	112
9.3. Metode moderne de măsurarea vitezelor	113
9.4. Adaptoare numerice folosite la măsurarea vitezelor	113
<b>10. Traductoare de debit</b>	116
10.1. Debitmetre cu traductor rezistiv	117
10.2. Debitmetre cu inducție	117
10.3. Debitmetre cu ultrasunete	117
10.4. Debitmetre cu laser	119
10.5. Debitmetre termice	119
10.6. Debitmetre cu traductoare digitale	120
10.7. Debitmetre cu corp plutitor	121
10.8. Debitmetre cu traductor Hall	121
10.9. Debitmetre radiometrice	122
<b>11. Traductoare de presiune</b>	123
11.1. Traductoare de presiune cu elemente sensibile elastice	124
11.2. Dispozitive de conversie pentru elemente sensibile elastice	128
11.3. Adaptoare pentru elemente sensibile elastice	130
11.4. Traductoare de presiune cu elemente piezorezistive	130
11.5. Traductoare de presiune piezoelectrice	131
<b>12. Traductoare pH-metrice</b>	133
12.1. pH-metre	134
Aparate cu citire directă	135
Aparate de măsurare cu compensare	135
<b>13. Traductoare de umiditate</b>	137
13.1. Traductoare rezistive	137
13.2. Traductoare capacitive	137
13.3. Traductoare cu microunde	139
<b>14. Grafie</b>	140

## Capitolul 1.

### GENERALITĂȚI

#### 1.1. Rolul și locul traductoarelor în sistemele de măsură

Senzorii și traductoarele sunt părți importante ale lanțului de măsurare, care determină în mod hotărâtor precizia măsurării. Pentru cunoașterea fenomenelor, proceselor din jur, respectiv pentru controlarea acestora se fac măsurători de diferite tipuri: de precizie, de verificare sau măsurări generale care furnizează informații orientative. În funcție de scopul urmărit lanțul de măsurare poate fi mai simplu sau mai complicat, mai precis sau mai puțin precis, poate fi în buclă deschisă sau în buclă închisă, când pe baza măsurărilor se fac reglări asupra fenomenelor.

Lanțul de măsurare poate fi folosit pentru mai multe scopuri cum ar fi urmărirea, observarea, analiza, reglarea, experimentarea fenomenelor, din diverse domenii (construcție, industria de alimentare, procese chimice, construcția de mașini, urmărirea compoziției solului sau a aerului, urmărirea traficului, etc.). Diversitatea fenomenelor și proceselor de urmărit, respectiv de reglat fac necesar realizarea unor sisteme de măsurare care sunt nu numai adecvate dar permit și o interschimbabilitate ușoară a blocurilor componente, o mare flexibilitate. Marea majoritate a blocurilor componente a sistemelor de măsurare lucrează cu mărimi electrice, dar mărimile de intrare sunt preponderent neelectrice. Acestea fac necesar utilizarea senzorilor și traductoarelor, care au rolul de a transforma mărimea neelectrică într-o mărime electrică corespunzătoare.

Alegerea și utilizarea senzorului sau traductorului nu este ușor, trebuie să avem niște cunoștințe apriorii despre fenomenul de studiat, sau reglat.

Lanțul de măsurare poate fi analogic (fig. 1.1.) sau digital (fig. 1.2.), în funcție de modul de achiziție, prelucrare, vizualizare și reglare.

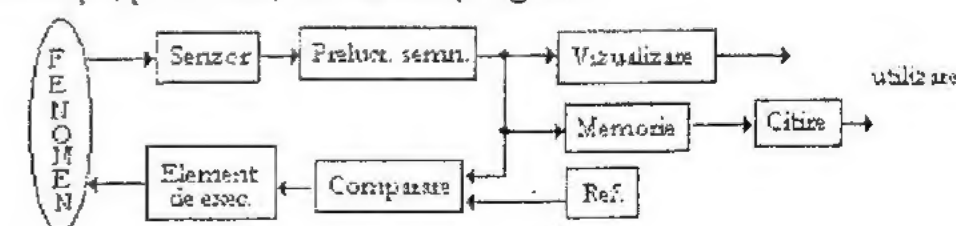


fig. 1.1.

În cazul lanțului de măsurare analogic senzorul transformă mărimea neelectrică de studiat (presiune, temperatură, debit, deplasare, tensiuni interne, etc.) într-o tensiune proporțională cu mărimea studiată. Blocul de prelucrare a semnalelor realizează o amplificare, o adaptare a impedanțelor, o transformare în semnal unificat, care permite interschimbabilitatea blocurilor în cazul defectărilor. Vizualizarea poate fi cu instrumente analogice (de ex. magnetoelectrice), sau electronic (afișaj șapte segmente, cu cristale lichide, cu șir de leduri, etc.). Memorarea poate fi o înregistrare mecanică sau

onică. Blocul comparator evaluează diferența și sensul diferenței dintre semnalul dat de blocul pentru prelucrarea semnalelor și referința, care este determinat de operator și poate fi reglat cu ajutorul unui potențiometrul sau cu comutatoare decadice. Comparatorul furnizează o tensiune de comandă elementului de execuție. Elementul de execuție poate să fie contactor, valvă, electromagnet, servomotor, care la rândul lor schimbă valoarea mărimii de studiat.

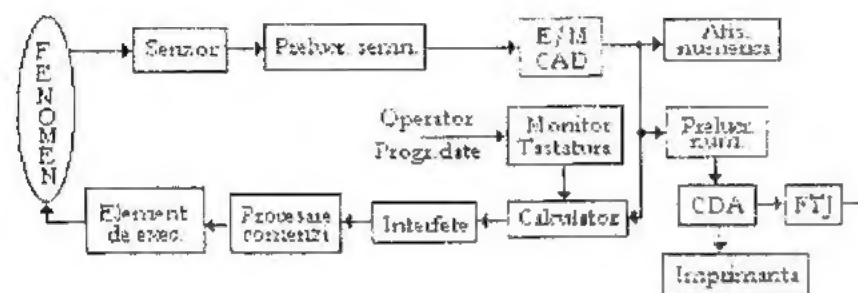


fig. 1.2.

Lanțul de măsurare numeric urmărește și prelucerează semnalele sub formă numerică. Blocul central care comandă și corelează funcționarea celorlalți blocuri este calculatorul. Acesta la rândul lui execută comenzile pe baza unui program scris după un algoritm care urmărește măsurarea diferitelor mărimi și reglarea procesului. Avantajul lanțului de măsurare numeric este imunitatea mai mică la zgomote, permite transmiterea la distanță, permite prelucrarea diferită și concomitentă a datelor.

Ambele tipuri de lanțuri de măsurare se numesc *sisteme de achiziție și prelucrare a datelor*, SAPD, care pot fi mai simple sau mai complexe în funcție de scopul urmărit. În ambele cazuri senzorul și circuitele de prelucrare a semnalelor determină în mod esențial exactitatea, sensibilitatea cu care se obține mărimea de măsurat sau studiat.

SAPD pot fi în *bucle deschise*, când se face o simplă achiziție a datelor pentru a fi utilizate, fără să se intervină asupra valorii acestuia, de exemplu măsurarea temperaturilor într-o grindă, determinarea poluării aerului, măsurarea vitezei unei mașini. Sau în *bucle închise* pe baza măsurărilor efectuate, face și un reglaj al mărimii de măsurat, de exemplu menținerea la o anumită cota a nivelului apei, reglarea temperaturii sau a presiunii într-un proces de prelucrare.

În cadrul SAPD se disting două canale, care se pot observa pe figurile 1.1. și 1.2. a) legarea datelor, aici aparțin senzorii, traductoarele, blocul de condiționarea datelor, convertorul analog-digital, b) controlul fenomenului, cu ajutorul calculatorului digital-analog, generare semnal, comparare, selectare și element de execuție.

Rolul senzorului este captarea informației de diferite tipuri. Informațiile pot fi fizice, informația este cuprinsă în amplitudinea, faza sau frecvența semnalului. Mărimile neelectrice sunt temperatura, forța, deplasarea, debitul, presiunea, nivelul, intensitatea luminoasă.

Folosirea senzorilor este legată de urmărirea, măsurarea mărimilor neelectrice. Ele transformă valoarea constantă sau variația unei mărimi neelectrice, într-o mărime constantă sau variabilă electrică, de obicei tensiune sau curent.

## 1.2. Structura generală a traductoarelor

Traductorul este un dispozitiv care pe baza unei legi fizice transformă o mărime într-o altă mărime de care diferă calitativ și/sau cantitativ. Deci traductorul transformă o mărime de un tip într-o altă mărime de alt tip, și realizează o corespondență bijectivă între mărimea de intrare și de ieșire.

Câteva cerințe pe care trebuie să satisfacă traductoarele:

- prelucrarea primară a informației
- siguranță în funcționare
- să furnizeze unsemnal cu intensitate mare și precizie ridicată
- Să aibă imunitate la perturbațiile electromagnetice
- construcție rigidă, rezistent la șocuri și vibrații
- gabarit redus, interschimbabilitate
- legături simple la intrare și ieșire
- întreținere și exploatare ușoară

Pentru a realiza transformarea este nevoie de energie, pe care poate să o ia direct de la mărimea studiată, cazul traductoarelor directe, sau de la o sursă de energie externă pe care mărimea de măsurat modulează, cazul traductoarelor pasive. Forme de energie: radiată, mecanică, electrică, termică, magnetică și chimică.

Traductorul transformă mărimea neelectrică într-o mărime electrică compatibilă cu sistemul care folosește informația furnizată. Pentru ca această transformare să fie cât mai exactă semnalul recepționat se prelucerează succesiv în diferitele blocuri componente ale traductorului. Traductoarele sunt constituite din două mari părți: *elementul sensibil* și *adaptorul*.

*Elementul sensibil* (traductorul de intrare sau senzor) sesizează mărimea de studiat și variațiile acestuia, preia informația de la măsurand (fenomen) și furnizează la ieșire un semnal electric proporțional cu valoarea măsurată neelectrică.

*Adaptorul* (traductorul de ieșire) execută transformări asupra semnalului obținut pentru a putea fi utilizat. Realizează o adaptare între mărimea de măsurat și sistemul de utilizare a informației. Pot exista traductoare intermediare, care realizează transformarea formei de energie obținută într-o altă formă de energie mai ușor de sesizat (cazul traductoarelor de vibrație parametrice cu captori). Adaptorul poate realiza filtrarea semnalului, eliminarea componentelor nedorite, amplificare, atenuare, sumare (operații liniare), sau produs, ridicare la putere, extracție de radical, (operații neliniare). Poate să execute liniarizări ale caracteristicii prin folosirea circuitelor de logaritmare sau exponențiere. Au la ieșire un tranzistor de putere și furnizează un semnal unificat în tensiune (0-10V) sau în curent (2-10mA sau 4-20mA).

Structura generală a unui traductor se prezintă pe figura 1.3.



fig. 1.3.

Elementul sensibil (senzor) este cea mai diversificată, datorită gamei largi de mărimi neelectrice care se măsoară și datorită condițiilor diverse în care ele poate să



onică. Blocul comparator evaluează diferența și sensul diferenței dintre semnalul dat de blocul pentru prelucrarea semnalelor și referința, care este determinat de operator și poate fi reglat cu ajutorul unui potențiometrul sau cu comutatoare decadice. Comparatorul furnizează o tensiune de comandă elementului de execuție. Elementul de execuție poate să fie contactor, valvă, electromagnet, servomotor, care la rândul lor schimbă valoarea mărimii de studiat.

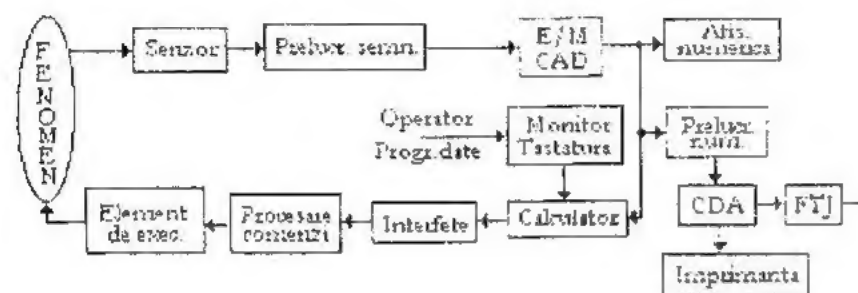


fig. 1.2.

Lanțul de măsurare numeric urmărește și prelucerează semnalele sub formă numerică. Blocul central care comandă și corelează funcționarea celorlalți blocuri este calculatorul. Acesta la rândul lui execută comenzile pe baza unui program scris după un algoritm care urmărește măsurarea diferitelor mărimi și reglarea procesului. Avantajul lanțului de măsurare numeric este imunitatea mai mică la zgomote, permite transmiterea la distanță, permite prelucrarea diferită și concomitentă a datelor.

Ambele tipuri de lanțuri de măsurare se numesc *sisteme de achiziție și prelucrare a datelor*, SAPD, care pot fi mai simple sau mai complexe în funcție de scopul urmărit. În ambele cazuri senzorul și circuitele de prelucrare a semnalelor determină în mod decisiv exactitatea, sensibilitatea cu care se obține mărimea de măsurat sau studiat.

SAPD pot fi în *bucle deschise*, când se face o simplă achiziție a datelor pentru a fi utilizate, fără să se intervină asupra valorii acestuia, de exemplu măsurarea temperaturilor într-o grindă, determinarea poluării aerului, măsurarea vitezei unei mașini. Sau în *bucle închise* pe baza măsurărilor efectuate, face și un reglaj al mărimii de măsurat, de exemplu menținerea la o anumită cota a nivelului apei, reglarea temperaturii sau a presiunii într-un proces de prelucrare.

În cadrul SAPD se disting două canale, care se pot observa pe figurile 1.1. și 1.2. a) legarea datelor, aici aparțin senzorii, traductoarele, blocul de condiționarea datelor, convertorul analog-digital, b) controlul fenomenului, cu ajutorul convertorului digital-analog, generare semnal, comparare, selectare și element de execuție.

Rolul senzorului este captarea informației de diferite tipuri. Informațiile pot fi fizice, informația este cuprinsă în amplitudinea, faza sau frecvența semnalului. Informațiile neelectrice sunt temperatura, forța, deplasarea, debitul, presiunea, nivelul, intensitatea luminoasă.

Folosirea senzorilor este legat de urmărirea, măsurarea mărimilor neelectrice. Ele transformă valoarea constantă sau variația unei mărimi neelectrice, într-o mărime constantă sau variabilă electrică, de obicei tensiune sau curent.

## 1.2. Structura generală a traductoarelor

Traductorul este un dispozitiv care pe baza unei legi fizice transformă o mărime într-o altă mărime de care diferă calitativ și/sau cantitativ. Deci traductorul transformă o mărime de un tip într-o altă mărime de alt tip, și realizează o corespondență bijectivă între mărimea de intrare și de ieșire.

Câteva cerințe pe care trebuie să satisfacă traductoarele:

- prelucrarea primară a informației
- siguranță în funcționare
- să furnizeze un semnal cu intensitate mare și precizie ridicată
- Să aibă imunitate la perturbațiile electromagnetice
- construcție rigidă, rezistent la șocuri și vibrații
- gabarit redus, interschimbabilitate
- legături simple la intrare și ieșire
- întreținere și exploatare ușoară

Pentru a realiza transformarea este nevoie de energie, pe care poate să o ia direct de la mărimea studiată, cazul traductoarelor directe, sau de la o sursă de energie externă pe care mărimea de măsurat modulează, cazul traductoarelor pasive. Forme de energie: radiată, mecanică, electrică, termică, magnetică și chimică.

Traductorul transformă mărimea neelectrică într-o mărime electrică compatibilă cu sistemul care folosește informația furnizată. Pentru ca această transformare să fie cât mai exactă semnalul recepționat se prelucerează succesiv în diferitele blocuri componente ale traductorului. Traductoarele sunt constituite din două mari părți: *elementul sensibil* și *adaptorul*.

*Elementul sensibil* (traductorul de intrare sau senzor) sesizează mărimea de studiat și variațiile acestuia, preia informația de la măsurand (fenomen) și furnizează la ieșire un semnal electric proporțional cu valoarea măsurată neelectrică.

*Adaptorul* (traductorul de ieșire) execută transformări asupra semnalului obținut pentru a putea fi utilizat. Realizează o adaptare între mărimea de măsurat și sistemul de utilizare a informației. Pot exista traductoare intermediare, care realizează transformarea formei de energie obținută într-o altă formă de energie mai ușor de sesizat (cazul traductoarelor de vibrație parametrice cu captori). Adaptorul poate realiza filtrarea semnalului, eliminarea componentelor nedorite, amplificare, atenuare, sumare (operații liniare), sau produs, ridicare la putere, extracție de radical, (operații neliniare). Poate să execute liniarizări ale caracteristicii prin folosirea circuitelor de logaritmare sau exponențiere. Au la ieșire un tranzistor de putere și furnizează un semnal unificat în tensiune (0-10V) sau în curent (2-10mA sau 4-20mA).

Structura generală a unui traductor se prezintă pe figura 1.3.



fig. 1.3.

Elementul sensibil (senzor) este cea mai diversificată, datorită gamei largi de mărimi neelectrice care se măsoară și datorită condițiilor diverse în care ele poate să



ctronică. Blocul comparator evaluează diferența și sensul diferenței dintre semnalul nizat de blocul pentru prelucrarea semnalelor și referința, care este determinat de lizator și poate fi reglat cu ajutorul unui potențiomtru sau cu comutatoare decadice. mparatorul furnizează o tensiune de comandă elementului de execuție. Elementul de cuție poate să fie contactor, valvă, electromagnet, servomotor, care la rândul lor imbă valoarea mărimii de studiat.

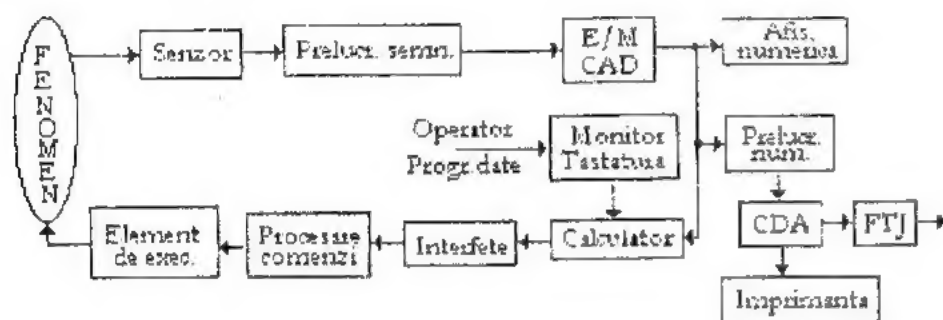


fig. 1.2.

Lanțul de măsurare numeric urmărește și prelucerează semnalele sub formă merică. Blocul central care comandă și corelează funcționarea celorlalți blocuri este iculatorul. Acesta la rândul lui execută comenzile pe baza unui program scris după un oritm care urmărește măsurarea diferitelor mărimi și reglarea procesului. Avantajul ului de măsurare numeric este înunitatea mai mică la zgomote, permite transmisia telor la distanță, permite prelucrarea diferită și concomitentă a datelor.

Ambele tipuri de lanțuri de măsurare se numesc *sisteme de achiziție și prelucrare datelor*, SAPD, care pot fi mai simple sau mai complexe în funcție de scopul urmărit. ambele cazuri senzorul și circuitele de prelucrare a semnalelor determină în mod tărător exactitatea, sensibilitatea cu care se obține mărimea de măsurat sau studiat.

SAPD pot fi: în *buclă deschisă*, când se face o simplă achiziție a datelor pentru a ține informații, fără să se intervină asupra valorii acestuia, de exemplu măsurarea orturilor într-o grindă, determinarea poluării aerului, măsurarea vitezei unei mașini. APD în *buclă închisă* pe baza măsurărilor efectuate, face și un reglaj al mărimii pective, de exemplu menținerea la o anumită cotă a nivelului apei, reglarea peraturii sau a presiunii într-un proces de prelucrare.

În cadrul SAPD se disting două canale, care se pot observa pe figurile 1.1. și 1.2. culegerea datelor, aici aparțin senzorii, traductoarele, blocul de condiționarea nnalelor, convertorul analog-digital, b) controlul fenomenului, cu ajutorul nvertorului digital-analog, generare semnal, comparare, selectare și element de cuție.

Rolul senzorului este captarea informației de diferite tipuri. Informațiile pot fi etrice, informația este cuprinsă în amplitudinea, faza sau frecvența semnalului. ōrmațiile neelectrice sunt temperatura, forța, deplasarea, debitul, presiunea, nivelul, nsitatea luminoasă.

Folosirea senzorilor este legat de urmărirea, măsurarea mărimilor neelectrice. Ele nsformă valoarea constantă sau variația unei mărimi neelectrice, într-o mărime nstantă sau variabilă electrică, de obicei tensiune sau rareori curent.

## 1.2. Structura generală a traductoarelor

Traductorul este un dispozitiv care pe baza unei legi fizice transformă o mărime într-o altă mărime de care diferă calitativ și/sau cantitativ. Deci traductorul transformă o mărime de un tip într-o altă mărime de alt tip, și realizează o corespondență bijectivă între mărimea de intrare și de ieșire.

Câteva cerințe pe care trebuie să satisfacă traductoarele:

- prelucrarea primară a informației
- siguranță în funcționare
- să furnizeze unsemnal cu intensitate mare și precizie ridicată
- Să aibă imunitate la perturbațiile electromagnetice
- construcție rigidă, rezistent la șocuri și vibrații
- gabarit redus, interschimbabilitate
- legături simple la intrare și ieșire
- întreținere și exploatare ușoară

Pentru a realiza transformarea este nevoie de energie, pe care poate să o ia direct de la mărimea studiată, cazul traductoarelor directe, sau de la o sursă de energie externă pe care mărimea de măsurat modulează, cazul traductoarelor pasive. Forme de energii. radiată, mecanică, electrică, termică, magnetică și chimică.

Traductorul transformă mărimea neelectrică într-o mărime electrică compatibilă cu sistemul care folosește informația furnizată. Pentru ca această transformare să fie cât mai exactă semnalul recepționat se prelucerează succesiv în diferitele blocuri componente traductorului. Traductoarele sunt constituite din două mari părți: *elementul sensibil* și *adaptorul*.

*Elementul sensibil* (traductorul de intrare sau senzor) sesizează mărimea de studiat și variațiile acestuia, preia informația de la măsurand (fenomen) și furnizează la ieșire un semnal electric proporțional cu valoarea măsurată neelectrică.

*Adaptorul* (traductorul de ieșire) execută transformări asupra semnalului obținut pentru a putea fi utilizat. Realizează o adaptare între mărimea de măsurat și sistemul de utilizare a informației. Pot exista traductoare intermediare, care realizează transformarea formei de energii obținută într-o altă formă de energie mai ușor de sesizat (cazul traductoarelor de vibrație parametrică cu captori). Adaptorul poate realiza filtrarea semnalului, eliminarea componentelor nedorite, amplificare, atenuare, sumare (operații liniare), sau produs, ridicare la putere, extracție de radical, (operații neliniare). Poate să execute liniarizări ale caracteristicii prin folosirea circuitelor de logaritmare sau exponențiere. Au la ieșire un tranzistor de putere și furnizează un semnal unificat în tensiune (0-10V) sau în curent (2-10mA sau 4-20mA).

Structura generală a unui traductor se prezintă pe figura 1.3.



fig. 1.3.

Elementul sensibil (senzor) este cea mai diversificată, datorită gamei largi de mărimi neelectrice care se măsoară și datorită condițiilor diverse în care ele poate să

ctronică. Blocul comparator evaluează diferența și sensul diferenței dintre semnalul nizat de blocul pentru prelucrarea semnalelor și referința, care este determinat de lizator și poate fi reglat cu ajutorul unui potențiomtru sau cu comutatoare decadice. mparatorul furnizează o tensiune de comandă elementului de execuție. Elementul de cuție poate să fie contactor, valvă, electromagnet, servomotor, care la rândul lor imbă valoarea mărimii de studiat.

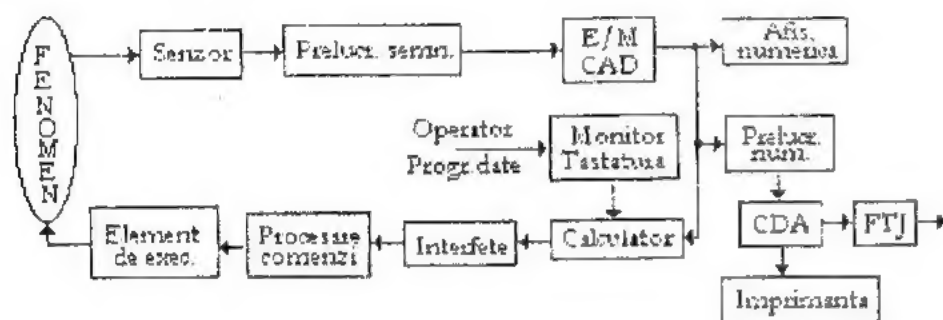


fig. 1.2.

Lanțul de măsurare numeric urmărește și prelucurează semnalele sub formă merică. Blocul central care comandă și corelează funcționarea celorlalți blocuri este iculatorul. Acesta la rândul lui execută comenzile pe baza unui program scris după un oritm care urmărește măsurarea diferitelor mărimi și reglarea procesului. Avantajul ului de măsurare numeric este înunitatea mai mică la zgomote, permite transmisia telor la distanță, permite prelucrarea diferită și concomitentă a datelor.

Ambele tipuri de lanțuri de măsurare se numesc *sisteme de achiziție și prelucrare datelor*, SAPD, care pot fi mai simple sau mai complexe în funcție de scopul urmărit. ambele cazuri senzorul și circuitele de prelucrare a semnalelor determină în mod tărător exactitatea, sensibilitatea cu care se obține mărimea de măsurat sau studiat.

SAPD pot fi: în *buclă deschisă*, când se face o simplă achiziție a datelor pentru a ține informații, fără să se intervină asupra valorii acestuia, de exemplu măsurarea orturilor într-o grindă, determinarea poluării aerului, măsurarea vitezei unei mașini. APD în *buclă închisă* pe baza măsurărilor efectuate, face și un reglaj al mărimii pective, de exemplu menținerea la o anumită cotă a nivelului apei, reglarea peraturii sau a presiunii într-un proces de prelucrare.

În cadrul SAPD se disting două canale, care se pot observa pe figurile 1.1. și 1.2. culegerea datelor, aici aparțin senzorii, traductoarele, blocul de condiționarea nnalelor, convertorul analog-digital, b) controlul fenomenului, cu ajutorul nvertorului digital-analog, generare semnal, comparare, selectare și element de cuție.

Rolul senzorului este captarea informației de diferite tipuri. Informațiile pot fi etrice, informația este cuprinsă în amplitudinea, faza sau frecvența semnalului. ōrmațiile neelectrice sunt temperatura, forța, deplasarea, debitul, presiunea, nivelul, nsitatea luminoasă.

Folosirea senzorilor este legat de urmărirea, măsurarea mărimilor neelectrice. Ele nsformă valoarea constantă sau variația unei mărimi neelectrice, într-o mărime nstantă sau variabilă electrică, de obicei tensiune sau rareori curent.

## 1.2. Structura generală a traductoarelor

Traductorul este un dispozitiv care pe baza unei legi fizice transformă o mărime într-o altă mărime de care diferă calitativ și/sau cantitativ. Deci traductorul transformă o mărime de un tip într-o altă mărime de alt tip, și realizează o corespondență bijectivă între mărimea de intrare și de ieșire.

Câteva cerințe pe care trebuie să satisfacă traductoarele:

- prelucrarea primară a informației
- siguranță în funcționare
- să furnizeze unsemnal cu intensitate mare și precizie ridicată
- Să aibă imunitate la perturbațiile electromagnetice
- construcție rigidă, rezistent la șocuri și vibrații
- gabarit redus, interschimbabilitate
- legături simple la intrare și ieșire
- întreținere și exploatare ușoară

Pentru a realiza transformarea este nevoie de energie, pe care poate să o ia direct de la mărimea studiată, cazul traductoarelor directe, sau de la o sursă de energie externă pe care mărimea de măsurat modulează, cazul traductoarelor pasive. Forme de energii. radiată, mecanică, electrică, termică, magnetică și chimică.

Traductorul transformă mărimea neelectrică într-o mărime electrică compatibilă cu sistemul care folosește informația furnizată. Pentru ca această transformare să fie cât mai exactă semnalul recepționat se prelucurează succesiv în diferitele blocuri componente traductorului. Traductoarele sunt constituite din două mari părți: *elementul sensibil* și *adaptorul*.

*Elementul sensibil* (traductorul de intrare sau senzor) sesizează mărimea de studiat și variațiile acestuia, preia informația de la măsurand (fenomen) și furnizează la ieșire un semnal electric proporțional cu valoarea măsurată neelectrică.

*Adaptorul* (traductorul de ieșire) execută transformări asupra semnalului obținut pentru a putea fi utilizat. Realizează o adaptare între mărimea de măsurat și sistemul de utilizare a informației. Pot exista traductoare intermediare, care realizează transformarea formei de energii obținută într-o altă formă de energie mai ușor de sesizat (cazul traductoarelor de vibrație parametrică cu captori). Adaptorul poate realiza filtrarea semnalului, eliminarea componentelor nedorite, amplificare, atenuare, sumare (operații liniare), sau produs, ridicare la putere, extracție de radical, (operații neliniare). Poate să execute liniarizări ale caracteristicii prin folosirea circuitelor de logaritmare sau exponențiere. Au la ieșire un tranzistor de putere și furnizează un semnal unificat în tensiune (0-10V) sau în curent (2-10mA sau 4-20mA).

Structura generală a unui traductor se prezintă pe figura 1.3.



fig. 1.3.

Elementul sensibil (senzor) este cea mai diversificată, datorită gamei largi de mărimi neelectrice care se măsoară și datorită condițiilor diverse în care ele poate să



ucreze (vid, mediu coroziv, temperaturi ridicate sau foarte scăzute, sub apă, presiuni mari, diverse mărimi perturbatoare).

Clasificarea ES după principiul de funcționare.

\*parametrice sau pasivi – se modifică un parametru de circuit sub influența mărimii de măsurat. Necesită surse externe de alimentare. Aici aparțin ES de tip rezistiv, inductiv și capacitiv.

\*generatoare sau activi – furnizează o tensiune electromotoare sau un curent proporțional cu mărimea de măsurat. ele nu necesită surse externe de alimentare, transformarea o realizează pe seama energiei luate de la măsurand, folosind de legi fizice. Această categorie aparțin termocuplele, celulele fotovoltaice.

Clasificarea după mărimea de ieșire:

\*analogice – dau la ieșire o tensiune sau un curent

\*digitale – furnizează la ieșire coduri numerice compatibile cu liniile de transmisie și sistemele de prelucrare numerică.

Clasificare după natura mărimii fizice de măsurat: de temperatură, de deplasare, de forță și viteză, de nivel, de debit, de intensitate luminoasă etc.

### 1.2.1. Elemente sensibile de tip parametrice sau modulator

Mărimea neelectrică de măsurat cauzează variația parametrilor de material sau variația parametrilor prin care se definesc elementele de circuit R, L, C. Această variație poate pune în evidență numai prin folosirea unor surse exterioare de tensiune și modificându-se valoarea elementului de circuit corespunzător determină variația tensiunii sau a curentului prin elementul respectiv. Are loc o modulare a energiei în funcție de mărimea de măsurat.

Relațiile care se folosesc pentru punerea în evidență a variațiilor parametrilor care definesc elementele de circuit sunt:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad L = \frac{N^2}{\sum_{k=1}^n \mu_k S_k} \quad C = \frac{\epsilon \cdot S}{d} \quad (1.1.)$$

Elementele sensibile rezistive se pot folosi pentru:

- variația lungimii sau a numărului de spire pentru măsurarea deplasării liniare sau unghiulare, măsurarea grosimii, a nivelului
- variația secțiunii la măsurarea forței sau presiunii
- variația rezistivității  $\rho$  poate fi determinat de mai multe cauze, temperatură, umiditate, procese chimice (măsurarea concentrației și a nivelului pH), influența radiației (măsurarea intensității, fluxul luminos, deplasări).

Elementele sensibile inductive se pot folosi pentru:

- prin variația lungimii sau a permeabilității  $\mu$  unei porțiuni de circuit magnetic folosind armătură mobilă se măsoară deplasări, grosimi, dimensiuni, nivel.

- variația lui  $l$ ,  $S$  sau  $\mu$  asociat cu elemente elastice poate fi utilizat la măsurarea vitezei, accelerației, vibrației.
- variația permeabilității sub influența forțelor permite măsurarea presiunii și a forței

Elementele sensibile capacitiv se pot folosi pentru:

- prin modificarea suprafeței sau distanței dintre armături se măsoară deplasări, presiuni, vibrații.
- modificarea permitivității  $\epsilon$  se produce sub influența nivelului lichidelor, grosimi, umiditate.

### 1.2.2. Elemente sensibile de tip activ sau generator

La baza conversiei mărimii neelectrică stau legi fizice, care determină apariția unei tensiuni electromotoare. Transformă direct mărimea neelectrică într-o mărime electrică (tensiune sau curent). Nu necesită surse externe auxiliare, energia necesară transformării este luată direct de la mărimea măsurată, asta înseamnă că poate modifica valoarea mărimii măsurate prin cuplare. Deaceia este nevoie ca ele să aibă o impedanță mare de intrare, sau în unele cazuri se folosesc totuși surse externe pentru a nu perturba procesul de urmărire.

Fenomene care se întâlnesc la funcționarea elementelor sensibile active: inducția electromagnetică, termoelectricitate, piezoelectricitate, magnetostricțiune, efect fotovoltaic

- *Fenomenul de inducție* – inducerea unei t. e. m. sub influența vitezei, accelerației debitului, vibrației, deplasări unghiulare.
- *Efectul termoelectric* – generarea unei t. e. m. de contact dintre două metale diferite cu coeficient termic diferit având punctele de sudură la temperaturi diferite. Una dintre cele două suduri se află la o temperatură de referință. T. e. m. generat este proporțional cu diferența de temperatură. Se folosesc la fabricarea termocuplelor. Perech de material folosite: Ni-Co, Pt-PtRh, Fe-Ni.
- *Piezoelectricitate* – polarizarea unui cristal sub acțiunea forței. Intensitatea și semnul polarizației depinde de sensul forței. Această proprietate apare numai la anumite dielectrici cu structură cristalină cum sunt cuarțul sau titanatul de bariu. Cristalele se folosesc de obicei pretensionat. Ele se folosesc pentru măsurarea forței, presiunii sau vibrației.
- *Magnetostricțiune* – generarea unei t. e. m. prin variația inducției remanente sub influența forței. Și această proprietate apare numai la anumite materiale cum sunt: Ni, Co, anumite aliaje ale fierului, Pt, Eb, Te. Se folosește pentru măsurarea forței sau presiunii.
- *Fenomene electrochimice* – generarea unei t. e. m. între doi electrozi situați în soluții cu concentrație de ioni diferită sau de natură diferită. Se măsoară concentrația respectiv nivelul pH.
- *Fenomenul fotoelectric* – generarea unei t. e. m. sub influența radiațiilor luminoase sau nucleare în anumite semiconductoare, cum sunt: Se, AgS, Cu<sub>2</sub>O. Se folosesc la măsurarea deplasărilor, dimensiuni, forme, intensitate luminoasă, detectarea radiațiilor nucleare

ucreze (vid, mediu coroziv, temperaturi ridicate sau foarte scăzute, sub apă, presiuni mari, diverse mărimi perturbatoare).

Clasificarea ES după principiul de funcționare.

\*parametrice sau pasivi – se modifică un parametru de circuit sub influența mărimii de măsurat. Necesită surse externe de alimentare. Aici aparțin ES de tip rezistiv, inductiv și capacitiv.

\*generatoare sau activi – furnizează o tensiune electromotoare sau un curent proporțional cu mărimea de măsurat. ele nu necesită surse externe de alimentare, transformarea o realizează pe seama energiei luate de la măsurand, folosind de legi fizice. Această categorie aparțin termocuplele, celulele fotovoltaice.

Clasificarea după mărimea de ieșire:

\*analogice – dau la ieșire o tensiune sau un curent

\*digitale – furnizează la ieșire coduri numerice compatibile cu liniile de transmisie și sistemele de prelucrare numerică.

Clasificare după natura mărimii fizice de măsurat: de temperatură, de deplasare, de forță și viteză, de nivel, de debit, de intensitate luminoasă etc.

### 1.2.1. Elemente sensibile de tip parametrice sau modulator

Mărimea neelectrică de măsurat cauzează variația parametrilor de material sau variația parametrilor prin care se definesc elementele de circuit R, L, C. Această variație poate pune în evidență numai prin folosirea unor surse exterioare de tensiune și modificându-se valoarea elementului de circuit corespunzător determină variația tensiunii sau a curentului prin elementul respectiv. Are loc o modulare a energiei în funcție de mărimea de măsurat.

Relațiile care se folosesc pentru punerea în evidență a variațiilor parametrilor care definesc elementele de circuit sunt:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad L = \frac{N^2}{\sum_{k=1}^n \mu_k S_k} \quad C = \frac{\epsilon \cdot S}{d} \quad (1.1.)$$

Elementele sensibile rezistive se pot folosi pentru:

- variația lungimii sau a numărului de spire pentru măsurarea deplasării liniare sau unghiulare, măsurarea grosimii, a nivelului
- variația secțiunii la măsurarea forței sau presiunii
- variația rezistivității  $\rho$  poate fi determinat de mai multe cauze, temperatură, umiditate, procese chimice (măsurarea concentrației și a nivelului pH), influența radiației (măsurarea intensității, fluxul luminos, deplasări).

Elementele sensibile inductive se pot folosi pentru:

- prin variația lungimii sau a permeabilității  $\mu$  unei porțiuni de circuit magnetic folosind armătură mobilă se măsoară deplasări, grosimi, dimensiuni, nivel.

- variația lui  $l$ ,  $S$  sau  $\mu$  asociat cu elemente elastice poate fi utilizat la măsurarea vitezei, accelerației, vibrației.
- variația permeabilității sub influența forțelor permite măsurarea presiunii și a forței

Elementele sensibile capacitiv se pot folosi pentru:

- prin modificarea suprafeței sau distanței dintre armături se măsoară deplasări, presiuni, vibrații.
- modificarea permitivității  $\epsilon$  se produce sub influența nivelului lichidelor, grosimi, umiditate.

### 1.2.2. Elemente sensibile de tip activ sau generator

La baza conversiei mărimii neelectrică stau legi fizice, care determină apariția unei tensiuni electromotoare. Transformă direct mărimea neelectrică într-o mărime electrică (tensiune sau curent). Nu necesită surse externe auxiliare, energia necesară transformării este luată direct de la mărimea măsurată, asta înseamnă că poate modifica valoarea mărimii măsurate prin cuplare. Deaceia este nevoie ca ele să aibă o impedanță mare de intrare, sau în unele cazuri se folosesc totuși surse externe pentru a nu perturba procesul de urmărire.

Fenomene care se întâlnesc la funcționarea elementelor sensibile active: inducția electromagnetică, termoelectricitate, piezoelectricitate, magnetostricțiune, efect fotovoltaic

- *Fenomenul de inducție* – inducerea unei t. e. m. sub influența vitezei, accelerației debitului, vibrației, deplasări unghiulare.
- *Efectul termoelectric* – generarea unei t. e. m. de contact dintre două metale diferite cu coeficient termic diferit având punctele de sudură la temperaturi diferite. Una dintre cele două suduri se află la o temperatură de referință. T. e. m. generat este proporțional cu diferența de temperatură. Se folosesc la fabricarea termocuplelor. Perech de material folosite: Ni-Co, Pt-PtRh, Fe-Ni.
- *Piezoelectricitate* – polarizarea unui cristal sub acțiunea forței. Intensitatea și semnul polarizației depinde de sensul forței. Această proprietate apare numai la anumite dielectrici cu structură cristalină cum sunt cuarțul sau titanatul de bariu. Cristalele se folosesc de obicei pretensionat. Ele se folosesc pentru măsurarea forței, presiunii sau vibrației.
- *Magnetostricțiune* – generarea unei t. e. m. prin variația inducției remanente sub influența forței. Și această proprietate apare numai la anumite materiale cum sunt: Ni, Co, anumite aliaje ale fierului, Pt, Eb, Te. Se folosește pentru măsurarea forței sau presiunii.
- *Fenomene electrochimice* – generarea unei t. e. m. între doi electrozi situați în soluții cu concentrație de ioni diferită sau de natură diferită. Se măsoară concentrația respectiv nivelul pH.
- *Fenomenul fotoelectric* – generarea unei t. e. m. sub influența radiațiilor luminoase sau nucleare în anumite semiconductoare, cum sunt: Se, AgS, Cu<sub>2</sub>O. Se folosesc la măsurarea deplasărilor, dimensiuni, forme, intensitate luminoasă, detectarea radiațiilor nucleare



Aceste tipuri de elemente sensibile au avantajul unei cuplări simple și mod de folosire ușoară, dar furnizează un semnal de nivel foarte redus, care complică structura adaptoarelor utilizate. Acestea trebuie să realizeze izolări, amplificări, adaptări de impedanțe, filtrarea zgomotelor, ecranări

### 1.2.3. Adaptoare pentru elemente sensibile parametrice

Adaptoarele realizează transformarea, prelucrarea semnalului furnizat de ES în semnal unificat corespunzător echipamentului care folosește informația. În cazul adaptoarelor pentru E.S. parametrice se convertește variația de R, L, C într-o variație de tensiune sau curent, alternativ sau continuu.

De obicei se folosesc scheme cu punți de c. c. sau de c. a. care lucrează în dezechilibru. Tensiunea de dezechilibru  $U_D$  este proporțională cu variația mărimii de măsurat, ea se amplifică și se aplică etajului de ieșire. Punte folosită poate fi un sfert de punte, în care se folosește numai un singur element sensibil, jumătate de punte, în care se montează două E.S. diferențial (mărimii de măsurat are efecte opuse asupra E.S.), astfel se obține o sensibilitate mai mare. Și se pot folosi punte completă la care toate cele patru brațe ale punții conțin câte un E.S., două câte două montate diferențial. Pentru eliminarea influenței elementelor perturbatoare se aplică o reacție negativă.

Schema bloc a adaptoarelor:

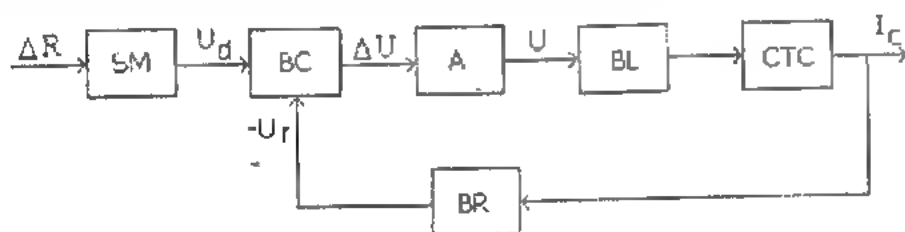


fig. 14.

Blocurile componente sunt:

SM – schemă de măsură, tip punte Wheatstone în cc sau ca

BC – bloc de comparație, sumare a tensiunilor de dezechilibru  $U_D$  și  $U_R$  tensiune de reacție.

A – amplificator care face și o adaptare a impedanțelor și separare galvanică (se folosesc amplificatoare de măsură cu impedanță de intrare mare și amplificare variabilă, amplificatoare de izolație)

BL – bloc de liniarizare, generator de funcții, integrator, derivator, se execută prelucrarea semnalului

CTC – convertor tensiune – curent, furnizează semnalul unificat la ieșire, este realizat cu tranzistoare de putere

BR – bloc de reacție, divizor de tensiune rezistiv, care furnizează o tensiune de reacție  $U_R$  proporțională cu curentul de ieșire  $I_c$

### 1.2.4. Adaptoare pentru elemente sensibile generatoare

Lucrează după o schemă de principiu asemănătoare, lipsește puntea de măsură deoarece elementul sensibil furnizează o tensiune care corespunde cu tensiunea de dezechilibru, cu remarcă că această tensiune este de nivel mult mai scăzut și mult mai influențabil de perturbații.

Cerințele care se impun adaptoarelor depind de semnalul furnizat de E.S. care este de nivel foarte scăzut, tensiunea alternativă furnizată are o frecvență variabilă în limite largi, impedanța sursei (E.S.) este destul de mare ( $10^8 - 10^9$ ).

Adaptoarele trebuie să lucreze în bandă largă, până la  $10^6$  Hz cu CMMR 60-80 dB, la intrare se folosesc amplificatoare cu diode varicap sau tranzistoare cu efect de câmp.

## 1.3. Caracteristicile și performanțele traductoarelor

Caracteristicile funcționale ale traductoarelor pun în evidență relațiile de dependență între intrare și ieșire. Performanțele sunt indicatori care permit să se aprecieze măsura în care caracteristicile reale corespund cu cele ideale și care sunt condițiile de exploatare pentru o cât mai bună concordanță.

Condițiile efective de utilizare a traductoarelor impun o anumită realizare constructivă care să țină seama și de aspectele de montare întreținere, reparație. Caracteristicile constructive definesc mediul, condițiile în care traductorul poate să funcționeze un timp îndelungat.

Caracteristicile definesc și modul în care traductorul este influențabil de către alte echipamente respectiv cum influențează el alte aparate (emisii undelor electromagnetice)

Caracteristicile după care se aleg traductoarele se împart în următoarele categorii:

- caracteristici în regim staționar
- caracteristici în regim dinamic
- caracteristici energetice
- caracteristici constructive

### 1.3.1. Caracteristici de regim staționar

Aceste caracteristici reprezintă cazurile în care mărimii de intrare, respectiv de ieșire nu variază în timp. Se pot realiza măsuri statice și se pot face analogii cu aparate de măsură analogice. Pe durata măsurărilor mărimea de măsurat nu-și modifică valoarea, decât foarte puțin corespunzător unei cuante

#### Caracteristica statică

Este dată sub forma:  $y=f(x)$  și relația poate fi exprimat prin tabel, cu un grafic sau expresie matematică.

Această relație exprimă o dependență ideală între mărimii de intrare și ieșire. În realitate mărimea de ieșire se modifică în funcție de mărimii perturbatoare interne sau externe. Relația de dependență se modifică:  $y=f(x, \xi, u, c)$ . În această relație  $\xi$  reprezintă

Aceste tipuri de elemente sensibile au avantajul unei cuplări simple și mod de folosire ușoară, dar furnizează un semnal de nivel foarte redus, care complică structura adaptoarelor utilizate. Acestea trebuie să realizeze izolări, amplificări, adaptări de impedanțe, filtrarea zgomotelor, ecranări

### 1.2.3. Adaptoare pentru elemente sensibile parametrice

Adaptoarele realizează transformarea, prelucrarea semnalului furnizat de ES în semnal unificat corespunzător echipamentului care folosește informația. În cazul adaptoarelor pentru E.S. parametrice se convertește variația de R, L, C într-o variație de tensiune sau curent, alternativ sau continuu.

De obicei se folosesc scheme cu punți de c. c. sau de c. a. care lucrează în dezechilibru. Tensiunea de dezechilibru  $U_D$  este proporțională cu variația mărimii de măsurat, ea se amplifică și se aplică etajului de ieșire. Punte folosită poate fi un sfert de punte, în care se folosește numai un singur element sensibil, jumătate de punte, în care se montează două E.S. diferențial (mărimii de măsurat are efecte opuse asupra E.S.), astfel se obține o sensibilitate mai mare. Și se pot folosi punte completă la care toate cele patru brațe ale punții conțin câte un E.S., două câte două montate diferențial. Pentru eliminarea influenței elementelor perturbatoare se aplică o reacție negativă.

Schema bloc a adaptoarelor:

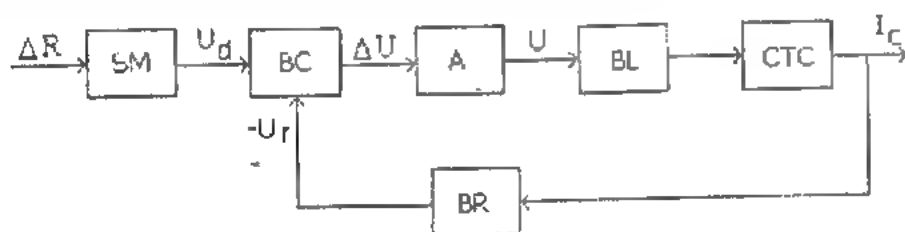


fig. 14.

Blocurile componente sunt:

SM – schemă de măsură, tip punte Wheatstone în cc sau ca

BC – bloc de comparație, sumare a tensiunilor de dezechilibru  $U_D$  și  $U_R$  tensiune de reacție.

A – amplificator care face și o adaptare a impedanțelor și separare galvanică (se folosesc amplificatoare de măsură cu impedanță de intrare mare și amplificare variabilă, amplificatoare de izolație)

BL – bloc de liniarizare, generator de funcții, integrator, derivator, se execută prelucrarea semnalului

CTC – convertor tensiune – curent, furnizează semnalul unificat la ieșire, este realizat cu tranzistoare de putere

BR – bloc de reacție, divizor de tensiune rezistiv, care furnizează o tensiune de reacție  $U_R$  proporțională cu curentul de ieșire  $I_c$

### 1.2.4. Adaptoare pentru elemente sensibile generatoare

Lucrează după o schemă de principiu asemănătoare, lipsește puntea de măsură deoarece elementul sensibil furnizează o tensiune care corespunde cu tensiunea de dezechilibru, cu remarcă că această tensiune este de nivel mult mai scăzut și mult mai influențabil de perturbații.

Cerințele care se impun adaptoarelor depind de semnalul furnizat de E.S. care este de nivel foarte scăzut, tensiunea alternativă furnizată are o frecvență variabilă în limite largi, impedanța sursei (E.S.) este destul de mare ( $10^8 - 10^9$ ).

Adaptoarele trebuie să lucreze în bandă largă, până la  $10^6$  Hz cu CMMR 60-80 dB, la intrare se folosesc amplificatoare cu diode varicap sau tranzistoare cu efect de câmp.

## 1.3. Caracteristicile și performanțele traductoarelor

Caracteristicile funcționale ale traductoarelor pun în evidență relațiile de dependență între intrare și ieșire. Performanțele sunt indicatori care permit să se aprecieze măsura în care caracteristicile reale corespund cu cele ideale și care sunt condițiile de exploatare pentru o cât mai bună concordanță.

Condițiile efective de utilizare a traductoarelor impun o anumită realizare constructivă care să țină seama și de aspectele de montare întreținere, reparație. Caracteristicile constructive definesc mediul, condițiile în care traductorul poate să funcționeze un timp îndelungat.

Caracteristicile definesc și modul în care traductorul este influențabil de către alte echipamente respectiv cum influențează el alte aparate (emisii undelor electromagnetice)

Caracteristicile după care se aleg traductoarele se împart în următoarele categorii:

- caracteristici în regim staționar
- caracteristici în regim dinamic
- caracteristici energetice
- caracteristici constructive

### 1.3.1. Caracteristici de regim staționar

Aceste caracteristici reprezintă cazurile în care mărimii de intrare, respectiv de ieșire nu variază în timp. Se pot realiza măsuri statice și se pot face analogii cu aparate de măsură analogice. Pe durata măsurărilor mărimea de măsurat nu-și modifică valoarea, decât foarte puțin corespunzător unei cuante

#### Caracteristica statică

Este dată sub forma:  $y=f(x)$  și relația poate fi exprimat prin tabel, cu un grafic sau expresie matematică.

Această relație exprimă o dependență ideală între mărimii de intrare și ieșire. În realitate mărimea de ieșire se modifică în funcție de mărimii perturbatoare interne sau externe. Relația de dependență se modifică:  $y=f(x, \xi, u, c)$ . În această relație  $\xi$  reprezintă



mărimile perturbatoare externe,  $v$  reprezintă mărimile perturbatoare interne, iar  $c$  reprezintă reglajele care pot fi efectuate în mod voit pentru ajustarea caracteristicilor.

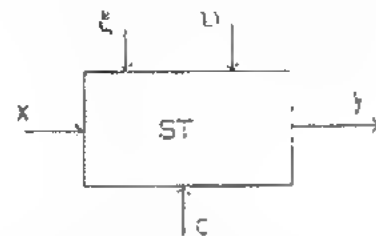


fig. 1.5.

Influența mărimilor perturbatoare asupra mărimii de ieșire se poate pune în evidență prin dezvoltarea în serie Taylor a relației de legătură:

$$\Delta y \approx \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial f}{\partial \xi} \Delta \xi + \frac{\partial f}{\partial v} \Delta v \quad (1.2.)$$

Fiecare termen exprimă sensibilitatea traductorului la mărimea respectivă. primul termen este sensibilitatea utilă și trebuie să fie cât mai mare, iar ultimele două termene sunt sensibilitățile parazite și trebuie să fie cât mai mici

În regim static  $\Delta y$  trebuie să fie în limitele unei erori tolerate  
Caracteristici statice tipice

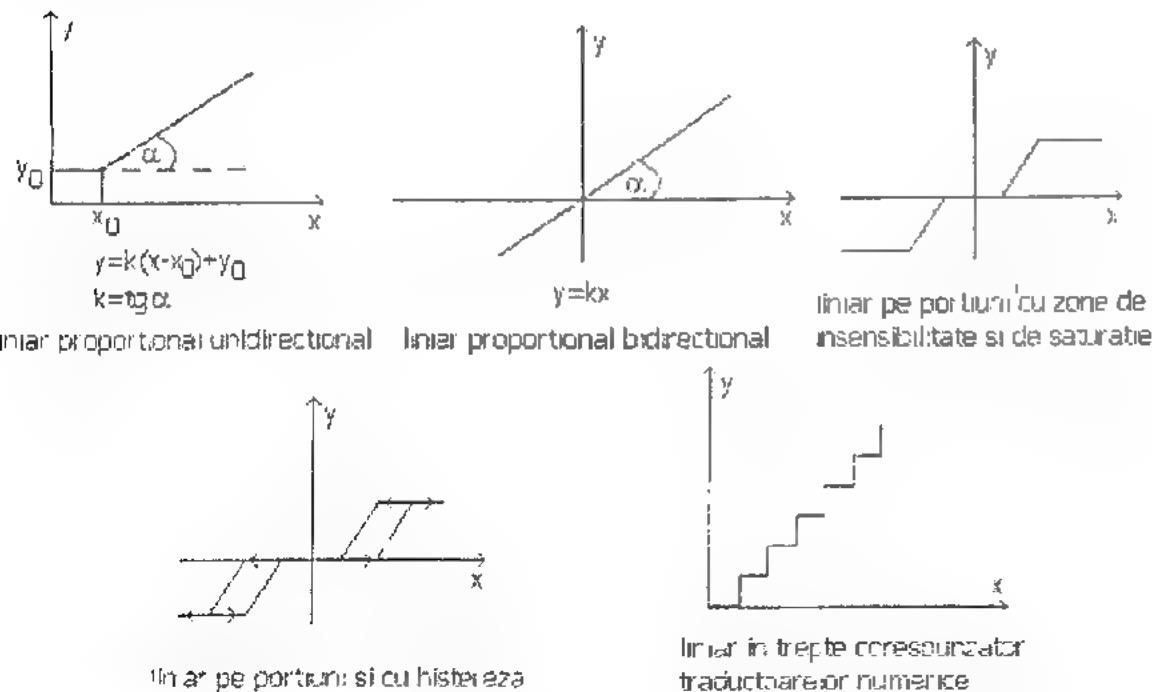


fig. 1.6.

#### Problema de neliniaritate

Se definește ca abaterea maximă în valori absolute de la caracteristica ideală liniară

Dacă  $\Delta y_1$  și  $\Delta y_2$  sunt abaterile maxime în plus și în minus de la caracteristica ideală, abaterea maximă va fi  $\Delta y_{\max} = \max\{\Delta y_1, \Delta y_2\}$ .

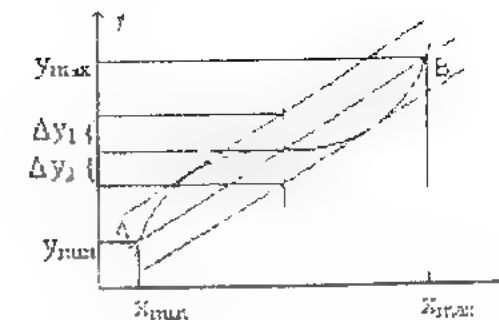


fig. 1.7

Se obișnuiește să se exprime abaterea relativă de neliniaritate:

$$\varepsilon = \frac{\Delta y_{\max}}{y_{\max} - y_{\min}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.3)$$

#### Problema de histeretă

Pentru o valoare a mărimii de intrare corespund două valori ale mărimii de ieșire depinzând de sensul de variație a mărimii de intrare

#### Domeniul de măsurare

Reprezintă intervalul  $x_{\min} \rightarrow x_{\max}$  între care traductorul permite măsurare corectă. De obicei porțiunea liniară a caracteristicii. Traductoarele cu semnale unificate la ieșire, limitele  $y_{\min} \rightarrow y_{\max}$  se mențin, indiferent de limitele mărimii de intrare

#### Sensibilitate

Se exprimă ca raportul dintre variația mărimii de ieșire și variația mărimii de intrare, care în cazul unei caracteristici liniare corespunde cu panta caracteristicii

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x} = k = \operatorname{tg} \alpha$$

$$S = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1.4)$$

Pentru traductoarele cu caracteristică neliniară sensibilitatea se exprimă pe porțiuni, și se definește o sensibilitate diferențială într-un anumit punct

$$S_i = \left. \frac{\Delta y}{\Delta x} \right|_{x=x_i} \quad (1.5)$$

Sensibilitatea poate să fie supraunitară, atunci are loc o amplificare, sau subunitară și are loc o atenuare a semnalului.

Deoarece traductorul este influențat de mai multe mărimi (utile și parazite) se determină și o sensibilitate totală, care este suma sensibilităților componente

#### Prag de sensibilitate

Este cea mai mică variație a mărimii de intrare care poate determina o variație sesizabilă (măsurabilă) la ieșire.

Se definesc zone de insensibilitate - domeniu de variație a mărimii de intrare pentru care nu avem la ieșire nici un semnal. Corespunzător se determină valoarea minimă a mărimii de măsurat care are deja efect asupra ieșirii

Pragul de sensibilitate este influențat de mărimi perturbatoare interne și externe se poate regla în funcție de condițiile concrete de lucru.

mărimile perturbatoare externe,  $v$  reprezintă mărimile perturbatoare interne, iar  $c$  reprezintă reglajele care pot fi efectuate în mod voit pentru ajustarea caracteristicilor.

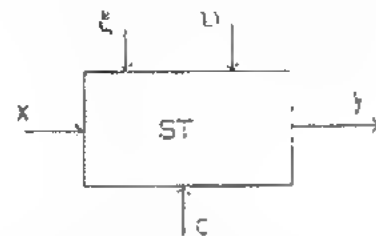


fig. 1.5.

Influența mărimilor perturbatoare asupra mărimii de ieșire se poate pune în evidență prin dezvoltarea în serie Taylor a relației de legătură:

$$\Delta y \approx \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial f}{\partial \xi} \Delta \xi + \frac{\partial f}{\partial v} \Delta v \quad (1.2.)$$

Fiecare termen exprimă sensibilitatea traductorului la mărimea respectivă. primul termen este sensibilitatea utilă și trebuie să fie cât mai mare, iar ultimele două termene sunt sensibilitățile parazite și trebuie să fie cât mai mici

În regim static  $\Delta y$  trebuie să fie în limitele unei erori tolerate  
Caracteristici statice tipice

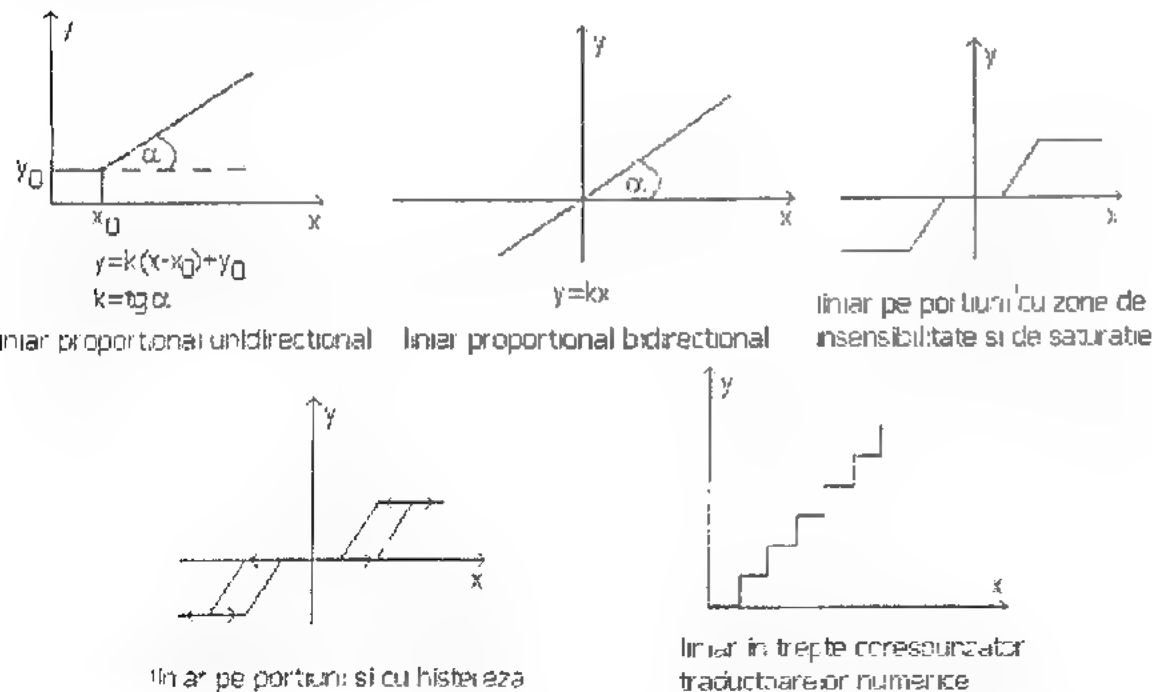


fig. 1.6.

#### Problema de neliniaritate

Se definește ca abaterea maximă în valori absolute de la caracteristica ideală liniară

Dacă  $\Delta y_1$  și  $\Delta y_2$  sunt abaterile maxime în plus și în minus de la caracteristica ideală, abaterea maximă va fi  $\Delta y_{\max} = \max\{\Delta y_1, \Delta y_2\}$ .

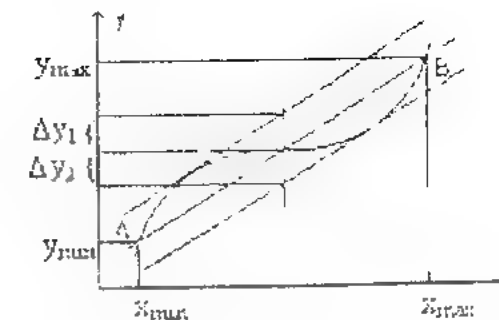


fig. 1.7

Se obișnuiește să se exprime abaterea relativă de neliniaritate:

$$\varepsilon = \frac{\Delta y_{\max}}{y'_{\max} - y'_{\min}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.3)$$

#### Problema de histeretă

Pentru o valoare a mărimii de intrare corespund două valori ale mărimii de ieșire depinzând de sensul de variație a mărimii de intrare

#### Domeniul de măsurare

Reprezintă intervalul  $x_{\min} \rightarrow x_{\max}$  între care traductorul permite măsurare corectă. De obicei porțiunea liniară a caracteristicii. Traductoarele cu semnale unificate la ieșire, limitele  $y_{\min} \rightarrow y_{\max}$  se mențin, indiferent de limitele mărimii de intrare

#### Sensibilitate

Se exprimă ca raportul dintre variația mărimii de ieșire și variația mărimii de intrare, care în cazul unei caracteristici liniare corespunde cu panta caracteristicii

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x} = k = \operatorname{tg} \alpha$$

$$S = \frac{y'_{\max} - y'_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1.4)$$

Pentru traductoarele cu caracteristică neliniară sensibilitatea se exprimă pe porțiuni, și se definește o sensibilitate diferențială într-un anumit punct

$$S_i = \left. \frac{\Delta y}{\Delta x} \right|_{x=x_i} \quad (1.5)$$

Sensibilitatea poate să fie supraunitară, atunci are loc o amplificare, sau subunitară și are loc o atenuare a semnalului.

Deoarece traductorul este influențat de mai multe mărimi (utile și parazite) se determină și o sensibilitate totală, care este suma sensibilităților componente

#### Prag de sensibilitate

Este cea mai mică variație a mărimii de intrare care poate determina o variație sesizabilă (măsurabilă) la ieșire.

Se definesc zone de insensibilitate - domeniu de variație a mărimii de intrare pentru care nu avem la ieșire nici un semnal. Corespunzător se determină valoarea minimă a mărimii de măsurat care are deja efect asupra ieșirii

Pragul de sensibilitate este influențat de mărimi perturbatoare interne și externe se poate regla în funcție de condițiile concrete de lucru.



### Rezoluția

Este o caracteristică specific traductoarelor cu ieșire numerică, și caracteristică în trepte. Este un indicator de performanță. Se definește ca variația maximă a mărimii de intrare pentru care se obține un salt la ieșire, adică se obține o modificare de un bit a bitului cel mai puțin semnificativ.

### Precizia

Exprimă cât de apropiate sunt valorile măsurate de cele reale. Se exprimă în funcție de mai multe tipuri de erori.

- erori de model
- erori de influență
- erori sistematice și aleatoare
- erori inadmisibile
- eroare relativă
- eroare tolerată – este un indicator esențial al traductoarelor și exprimă repetabilitatea măsurătorilor

La fel ca aparatele sunt prevăzute cu dispozitive, circuite pentru compensarea erorilor cauzate de fluctuații neprevăzute.

### 1.3.2 Caracteristici de regim dinamic

Mărimile de intrare și de ieșire variază rapid sau foarte rapid în timp. Cu ajutorul parametrilor de regim dinamic se determină cât de rapid se modifică răspunsul senzorului la modificarea mărimii de intrare, se efectuează măsurători dinamice. Se determină cât de perfect este răspunsul traductorului în amplitudine și fază cu mărirea variației semnalului de la intrare.

Se studiază traductorul I.- în domeniul timpului se determină constanta de timp, timp de creștere, timp de stabilizare, timp mort

II.- în domeniul frecvenței se determină banda de frecvență, frecvența proprie, factor de amortizare.

După rezolvarea ecuației care descrie variația mărimii de ieșire în timp, se obține.

$$y(t) = y_{li}(t) + y_{tr}(t) + y_{st}(t) \quad (1.6)$$

în care  $y_{li}(t)$  este componenta tranzitorie liberă, nu depinde de intrare ci de dinamica traductorului și de condițiile inițiale.

$y_{tr}(t)$  este componenta tranzitorie forțată, care depinde de intrare și de dinamica traductorului.

$y_{st}(t)$  este componenta forțată în regim stabilizat în care se regăsește variația semnalului de intrare

I.- în domeniul timpului se definesc următoarele parametri:

- *timp de creștere  $t_c$*  este intervalul de timp în care semnalul crește de la 10% până la 90% din valoarea de regim permanent.
- *constantă de timp  $\tau$*  este intervalul de timp în care mărimea de ieșire atinge 63,3% din valoarea de regim permanent. După un timp de  $t = 3\tau$  diferența dintre valoarea mărimii de ieșire și valoarea de regim permanent este 5%, după un timp de  $t = 4\tau$  această diferență este 2%, iar după  $t = 7\tau$  este numai 0,1%

- *timp mort  $t_d$*  timpul dintre momentul aplicării semnalului de la intrare și momentul începerii variației semnalului de ieșire corespunzător.
- *coeficient de amortizare  $\beta$*  determină timpul de răspuns al elementelor de ordin II, este timpul tranzitoriu în care ieșirea ajunge la valoarea de 80-90% din valoarea de regim permanent

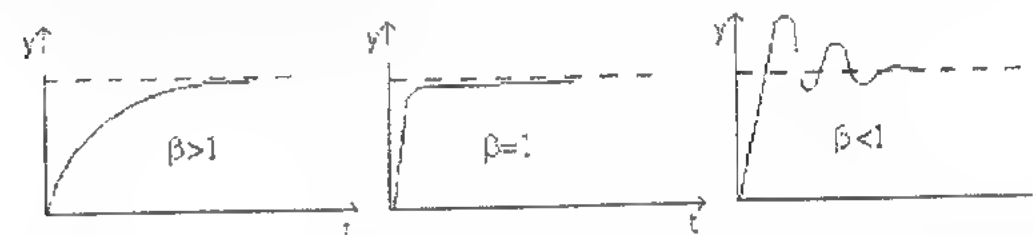


fig 1.8

- *supracreștere  $\sigma$*  se determină pentru regim periodic amortizat și este raportul dintre valoarea primului vârf și valoarea de regim stabilizat
- *timp de stabilizare  $t_s$*  este timpul în care semnalul de ieșire se încadrează în limitele admisibile față de regim permanent (stabilizat).

II.- în domeniul frecvenței se determină diferența de fază și de amplitudine dintre semnalul de intrare și de ieșire. În caz ideal la aplicarea unui semnal la intrare de forma  $x(t) = X \sin \omega t$  la ieșire avem  $y(t) = Y \sin \omega t$ , datorită elementelor reale din circuit, precum și a perturbațiilor ieșirea se deformează și va fi  $y(t) = Y_1 \sin(\omega t + \varphi)$ . Descrierea în domeniul frecvenței se face cu ajutorul funcției de transfer.

$$H(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} \Rightarrow H(j\omega) = \frac{Y}{X} \quad (1.7)$$

Cu ajutorul acestor ecuații se ridică două caracteristici:

- *amplitudine – frecvență* – arată modul în care se modifică amplitudinea semnalului de ieșire cu creșterea frecvenței semnalului de intrare
- *fază – frecvență* – arată modificarea defazajului dintre mărimea de intrare și de ieșire în funcție de frecvența semnalului de intrare.

### 1.3.3. Caracteristici energetice

Pentru traductoare perimetrice care necesită surse de alimentare, caracteristicile energetice se referă la tensiuni de alimentare (frecvență, valoare efectivă), consum de putere, curent maxim admis care poate să treacă prin elementul sensibil pentru ca acesta să nu se deterioreze sau să nu influențeze valoarea mărimii de măsurat, impedanța de ieșire.

Pentru traductoare generatoare care furnizează o t.e.m. de definesc impedanța de ieșire, valoarea minimă și maximă a tensiunii furnizate ( $U_{min}$  -  $U_{max}$ ), domeniul de utilizare. În ambele cazuri se face o adaptare a impedanță, separare galvanică pentru a proteja traductorul și pentru a transmite către utilizator numai semnalul util.

În general consumul traductoarelor este cuprins între  $10^{-3}$  și  $10^2$  W

### Rezoluția

Este o caracteristică specific traductoarelor cu ieșire numerică, și caracteristică în trepte. Este un indicator de performanță. Se definește ca variația maximă a mărimii de intrare pentru care se obține un salt la ieșire, adică se obține o modificare de un bit a bitului cel mai puțin semnificativ.

### Precizia

Exprimă cât de apropiate sunt valorile măsurate de cele reale. Se exprimă în funcție de mai multe tipuri de erori.

- erori de model
- erori de influență
- erori sistematice și aleatoare
- erori inadmisibile
- eroare relativă
- eroare tolerată – este un indicator esențial al traductoarelor și exprimă repetabilitatea măsurărilor

La fel ca aparatele sunt prevăzute cu dispozitive, circuite pentru compensarea erorilor cauzate de fluctuații neprevăzute.

### 1.3.2 Caracteristici de regim dinamic

Mărimile de intrare și de ieșire variază rapid sau foarte rapid în timp. Cu ajutorul parametrilor de regim dinamic se determină cât de rapid se modifică răspunsul senzorului la modificarea mărimii de intrare, se efectuează măsurători dinamice. Se determină cât de perfect este răspunsul traductorului în amplitudine și fază cu mărirea variației semnalului de la intrare.

Se studiază traductorul I.- în domeniul timpului se determină constanta de timp, timp de creștere, timp de stabilizare, timp mort

II.- în domeniul frecvenței se determină banda de frecvență, frecvența proprie, factor de amortizare.

După rezolvarea ecuației care descrie variația mărimii de ieșire în timp, se obține.

$$y(t) = y_{li}(t) + y_{tr}(t) + y_{st}(t) \quad (1.6)$$

în care  $y_{li}(t)$  este componenta tranzitorie liberă, nu depinde de intrare ci de dinamica traductorului și de condițiile inițiale.

$y_{tr}(t)$  este componenta tranzitorie forțată, care depinde de intrare și de dinamica traductorului.

$y_{st}(t)$  este componenta forțată în regim stabilizat în care se regăsește variația semnalului de intrare

I.- în domeniul timpului se definesc următoarele parametri:

- *timp de creștere  $t_c$*  este intervalul de timp în care semnalul crește de la 10% până la 90% din valoarea de regim permanent.
- *constanta de timp  $\tau$*  este intervalul de timp în care mărimea de ieșire atinge 63,3% din valoarea de regim permanent. După un timp de  $t = 3\tau$  diferența dintre valoarea mărimii de ieșire și valoarea de regim permanent este 5%, după un timp de  $t = 4\tau$  această diferență este 2%, iar după  $t = 7\tau$  este numai 0,1%

- *timp mort  $t_d$*  timpul dintre momentul aplicării semnalului de la intrare și momentul începerii variației semnalului de ieșire corespunzător.
- *coeficient de amortizare  $\beta$*  determină timpul de răspuns al elementelor de ordin II, este timpul tranzitoriu în care ieșirea ajunge la valoarea de 80-90% din valoarea de regim permanent

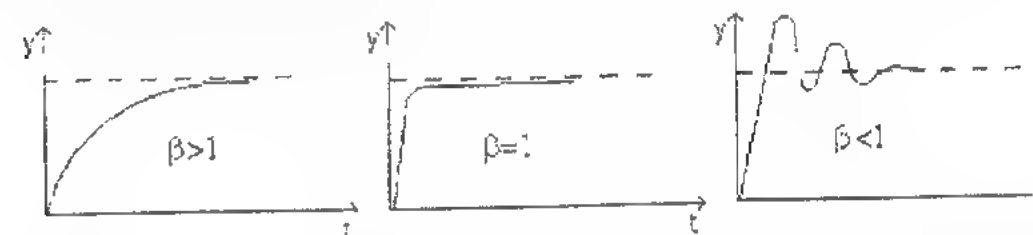


fig 1.8

- *supracreștere  $\sigma$*  se determină pentru regim periodic amortizat și este raportul dintre valoarea primului vârf și valoarea de regim stabilizat
- *timp de stabilizare  $t_s$*  este timpul în care semnalul de ieșire se încadrează în limitele admisibile față de regim permanent (stabilizat).

II.- în domeniul frecvenței se determină diferența de fază și de amplitudine dintre semnalul de intrare și de ieșire. În caz ideal la aplicarea unui semnal la intrare de forma  $x(t) = X \sin \omega t$  la ieșire avem  $y(t) = Y \sin \omega t$ , datorită elementelor reale din circuit, precum și a perturbațiilor ieșirea se deformează și va fi  $y(t) = Y_1 \sin(\omega t + \varphi)$ . Descrierea în domeniul frecvenței se face cu ajutorul funcției de transfer.

$$H(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} \Rightarrow H(j\omega) = \frac{Y}{X} \quad (1.7)$$

Cu ajutorul acestor ecuații se ridică două caracteristici:

- *amplitudine – frecvență* – arată modul în care se modifică amplitudinea semnalului de ieșire cu creșterea frecvenței semnalului de intrare
- *fază – frecvență* – arată modificarea defazajului dintre mărimea de intrare și de ieșire în funcție de frecvența semnalului de intrare.

### 1.3.3. Caracteristici energetice

Pentru traductoare perimetrice care necesită surse de alimentare, caracteristicile energetice se referă la tensiuni de alimentare (frecvență, valoare efectivă), consum de putere, curent maxim admis care poate să treacă prin elementul sensibil pentru ca acesta să nu se deterioreze sau să nu influențeze valoarea mărimii de măsurat, impedanța de ieșire.

Pentru traductoare generatoare care furnizează o t.e.m. de definesc impedanța de ieșire, valoarea minimă și maximă a tensiunii furnizate ( $U_{min}$  -  $U_{max}$ ), domeniul de utilizare. În ambele cazuri se face o adaptare a impedanței, separare galvanică pentru a proteja traductorul și pentru a transmite către utilizator numai semnalul util.

În general consumul traductoarelor este cuprins între  $10^{-3}$  și  $10^2$  W

#### 1.3.4 Caracteristici constructive

Se definesc modul de realizare, montare, condiții de exploatare în care se garantează funcționarea bună, erori minime și fiabilitate maximă

- Robustete – caracterizează condițiile în care traductorul poate funcționa. Cu cât se permite funcționarea în medii umede, temperaturi ridicate, șocuri mecanice, medii corozive, explozive, cu atât este traductorul mai robust
- Supraîncărcarea – definește măsura în care traductorul poate să suporte mărimi care depășesc limitele superioare a domeniului de măsurare, fără a deteriora traductorul. Supraîncărcarea depinde de timpul de acționare. Se deosebesc capacități de supraîncărcare la șocuri reprezintă suportarea unui semnal de 5 ori mai mare ca valoarea nominală dar pe un timp foarte scurt. Capacitatea de supraîncărcare la sur sarcină reprezintă suportarea unui semnal de 1,5 – 2 ori mai mare ca valoarea nominală dar pe un timp îndelungat.

Traductoarele se prevăd cu diferite protecții în funcție de mediul de utilizare:

- Protecție climatică reglementat de STAS și se referă la mediul climatic: valoarea normală a temperaturii și umidității
- Protecție contra exploziilor se ia în considerare agenții chimici de exemplu ulei, praf, nisip care pot exista în atmosfera în care se utilizează traductorul.
- Protecția anticorozivă ia în considerare dacă se lucrează sub apă sau diferite soluții corozive

#### 1.3.5 Influenta perturbațiilor de natură electrică

Perturbațiile de natură electrică afectează mijloacele de măsură mai ales transmiterea datelor. Cum traductoarele sunt situate la o distanță mare de aparatura de măsurare și reglare, în afara mediului în care lucrează traductorul, perturbațiile electrice se suprapun semnalelor utile, le perturbă, modifică valoarea lor, de unde rezultă măsurări incorecte și reglaje greșite.

##### 1.3.5.1. Transmiterea informațiilor

La transmiterea informațiilor se folosesc semnale analogice sau semnale numerice.

Semnalele analogice sunt semnale unificate de tensiune (0-10V) care pot fi transmise pe o distanță maximă de 30m, sau semnale unificate de curent (2-10mA sau 4-20mA) care se transmit până la 3000m. Deoarece la transmiterea semnalelor unificate de tensiune apar erori din cauza căderilor de tensiune pe linie, se preferă folosirea transmiterii în curent

În general transmiterea semnalelor analogice prezintă mai multe dezavantaje legate de interferențe și necesită o conversie ulterioară pentru prelucrare numerică

Semnalele numerice pot fi transmise teoretic la orice distanță, sunt mai puțin influențabile, pot fi folosite direct în procesul de prelucrare a informației. Se pune problema interferenței legate de conectarea a două sau mai multe sisteme numerice de măsurat la calculator

Pentru transmiterea datelor numerice se folosesc interfețe de tip paralel, cum este interfața IEEE-488 care este o interfață instrumentală paralelă asincronă cu 8 biți de date, permite conectarea a 15 echipamente cu o lungime totală a cablurilor de 20m.

Interfețele asincrone seriale pot funcționa SIMPLEX (unidirecțional, fără răspuns) DUPLEX (secvențial pe sens) sau DUPLEX COMPLET (simultan bidirecțional)

##### 1.3.5.2 Compatibilitatea electromagnetică

Prin compatibilitate electromagnetică se înțelege capacitatea sistemelor electrice, electronice și radio de a coexista în sensul de a nu emite nivele inacceptabile de radiații electromagnetice, precum de a nu reacționa imprevizibil la emisia produsă de alte sisteme

Se prezintă sub două aspecte

- *nivelul de emisie* propriu sistemului care poate propaga în mediul înconjurător prin conducție sau prin radiație.
- *susceptibilitatea* (imunitatea) proprie sistemului, capacitatea de a nu reacționa la perturbații electromagnetice produse de alte sisteme.

Perturbațiile pot fi continue sau în impulsuri

Căile de emisie, recepție (pătrundere) a perturbației poate fi rețeaua de alimentare, căi de semnal, circuite de masă, îmbinări, carcase (fig. 1.9)

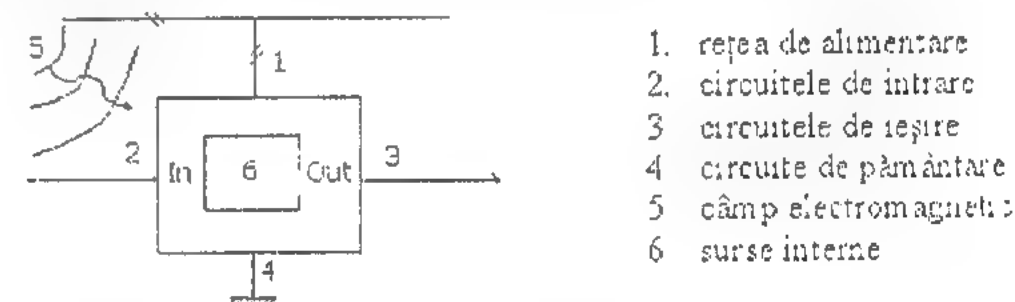


fig. 1.9.

Perturbațiile pot fi de joasă frecvență sau de înaltă frecvență.

În funcție de frecvența zgomotelor perturbațiile se împart:

- de joasă frecvență care cuprinde domeniul de frecvență de la 50Hz la 1000Hz. Acestea provin din rețea datorită componentelor armonice superioare determinate de consumatori neliniari. Pot proveni din descărcări electrostatice, vibrații mecanice, variații de temperatură. Nivelul lor este neglijabil la 1kHz
- în zona 1-100kHz este o zonă liniștită care se caracterizează printr-un zgomot alb cu o distribuție constantă.
- peste 100kHz cu creșterea frecvenței crește nivelul de zgomot. Peste nivelul normal de zgomot se suprapun perturbațiile posturilor de radio, TV și cele provenite din diverse aplicații industriale de înaltă frecvență

Din aceste considerente rezultă că pentru transmiterea semnalelor cel mai avantajos domeniu este cea a intervalului cuprins între 1-100kHz



## Capitolul 2.

### TRADUCTOARE DE TEMPERATURĂ

Temperatura este o mărime fizică scalară care caracterizează starea termică a unui corp. Măsurarea temperaturii presupune în primul rând stabilirea unei scări de măsură

Cea mai utilizată scară este scara Celsius, conform căreia pentru zero grade îi corespunde temperatura de topire a gheții. Unitatea de măsură este a suta parte din temperatura de fierbere a apei ( $100^{\circ}\text{C}$ ). notația se face cu  $t$ .

În scara Kelvin temperatura de topire a gheții este  $273,15^{\circ}\text{K}$ . Temperatura de  $0^{\circ}\text{K}$  corespunde unei stări speciale a materiei, numită "zero absolut", la care mișcarea termică a particulelor din material se încetează, rezistivitatea materialului este zero, materialul devine supraconductor. Unitatea Kelvin este o unitate fundamentală în sistemul internațional de măsură (SI), notația se face cu  $T$ . Conversia între cele două scări de temperatură se face cu relația.

$$T = t + 273,15 \quad (2.1.)$$

Conform scării Fahrenheit, temperatura de topire a gheții este la  $32^{\circ}\text{F}$ , iar cea de fierbere la  $212^{\circ}\text{F}$ . Unitatea de măsură este  $[^{\circ}\text{F}]$  și relația de transformare între scara Celsius și Fahrenheit este:

$$t[^{\circ}\text{F}] = 1,8t + 32$$

Această unitate de măsură precum și scara Rankine se folosește mai ales în Anglia, SUA și Canada

În procesele industriale, de reglare și de stabilizare a proceselor, ocupă un loc important măsurarea, respectiv menținerea cât mai constantă a temperaturii. Măsurarea se face într-o gamă foarte largă, de la zecimi de grade la mii de grade, măsurătorile curente sunt incluse în domeniul  $-100 + 2000[^{\circ}\text{C}]$ . În acest scop se face măsurarea temperaturii pe cale electronică, folosind diferite traductoare.

Traductoarele de temperatură folosite în măsurări electrice au o mare varietate, datorită gamei largi de temperatură care se măsoară, cât și preciziei cu care se măsoară într-un anumit domeniu. Eroarea de măsură se datorește în primul rând efectelor de schimb de căldură între traductor și mediu. Evaluarea erorii de măsurare se face prin calculul răspunsului traductorului, această eroare este cu atât mai mică cu cât conductanța termică traductor – corp este mai mare. O altă sursă de eroare se datorește încălzirii datorită curentului propriu, care trece prin traductor (mai ales în cazul traductoarelor parametrice).

Marea varietate a traductoarelor se mai datorește și construcției lor diferite care este determinat de mediile în care ele trebuie să funcționeze.

Fenomenele care stau la baza funcționării lor prezintă la fel o mare diversificare. Conversia temperatură – mărime electrică, făcută de senzor, se face pe baza efectelor produse de câmpul termic asupra diferitelor materiale

Efectele produse de temperatură asupra diferitelor corpuri cu care vine în contact direct sau indirect sunt: dilatarea, modificarea dimensiunilor solidelor sau modificarea volumului lichidelor, variația conductivității electrice la materiale conductoare, modificarea proprietăților magnetice în cazul unor materiale magnetizabile, apariția și variația unei tensiuni electromotoare (pentru senzori activi), variația intensității și a

spectrului radiației emise de corp, precum și modificarea frecvenței de rezonanță proprie materialului

Traductoarele de temperatură pe lângă realizarea conversiei temperatură – mărime electrică, trebuie să aibă și alte proprietăți, cum sunt: sensibilitate, reproductibilitate, timp de răspuns mic, liniaritate pe un domeniu cât mai mare, montare și inter schimbabilitate rapidă și ușoară. Ele trebuie să fie protejate împotriva unor eventuale acțiuni distructive mecanice sau chimice. Aceste protecții care se adaugă în timpul realizării traductoarelor, duc la scăderea performanțelor acestora

Traductoarele de temperatură prezintă interes și în măsurarea indirectă a altor mărimi, ca de exemplu: debit, viteză, valoarea efectivă a tensiunii sau a curentului, presiune joase.

### Elemente sensibile pentru măsurarea temperaturii

#### 1. Tranzistorul

Tranzistorul este un dispozitiv semiconductor activ, al cărei utilizare ca traductor de temperatură este posibil datorită dependenței caracteristicilor, parametrilor de temperatură

Se poate folosi caracteristica de transfer al tranzistorului bipolar  $I_c = f(U_{BE})$  în funcție de temperatură, la care se menține curentul constant și se obține o variație a tensiunii în funcție de temperatură. Se mai utilizează modificarea curentului rezidual de emitor în gol  $I_{CBO}$  la variația temperaturii.

Pentru un tranzistor FET sensibilitatea la curent constant este în jur de  $2\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ . Pe figura 2.1. se dau curbele de variație a caracteristicii  $I_c = f(U_{BE})$  cu temperatura.

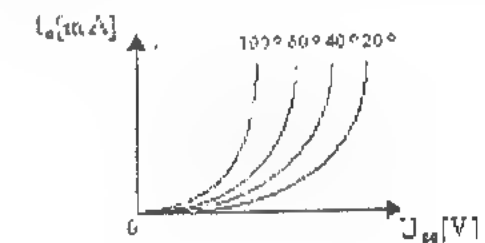


fig. 2.1.

Constanta de timp (timp de răspuns) este  $10 - 15\text{s}$ .

Pot măsura temperaturi până la  $90^{\circ}\text{C}$  cu tranzistor de germaniu, sau până la  $150^{\circ}\text{C}$  cu tranzistor de siliciu. Tranzistoarele de siliciu sunt mai mult folosite, ele permit stabilitate mai mare și se pot realiza traductoare de temperatură sub formă de circuite integrate, cu dimensiuni foarte reduse

Etalonarea lor se face măsurând tensiunea în funcție de temperatură, sau determină tensiunea necesară compensării curentului pentru ca acesta să rămână constant

Deoarece necesită tensiuni, curenți de alimentare trebuie acordat o atenție mare încălzirii suplimentare datorită curenților interni. Pentru ca acestea să nu influențeze măsurătorile, deci să fie neglijabile trebuie ca puterea disipată maximă să nu depășească  $P_{disip} \leq 100 \mu\text{W}$ .

## 2. Dioda

Folosirea diodei ca traductor de temperatură se justifică chiar prin ecuația caracteristicii, dependența curentului prin diodă de tensiunea aplicată la borne

$$I = I_0 \left[ \exp\left(\frac{qU}{mkT}\right) - 1 \right] \quad (2.1.)$$

unde  $I_0$  este curentul rezidual de saturație care la rândul lui depinde și el de temperatură,  
 $U$  tensiunea la borne,  
 $T$  temperatura absolută la care lucrează dispozitivul semiconductor.

Pentru măsurarea temperaturii se pot proceda în două feluri: urmărirea creșterii curentului prin diodă în funcție de temperatură, sau determinarea scăderii tensiunii la borne cu creșterea temperaturii, la curent constant. În primul caz se menține tensiunea constant, iar în al doilea caz se menține curentul constant. În figura următoare se prezintă cele două variante de utilizare.

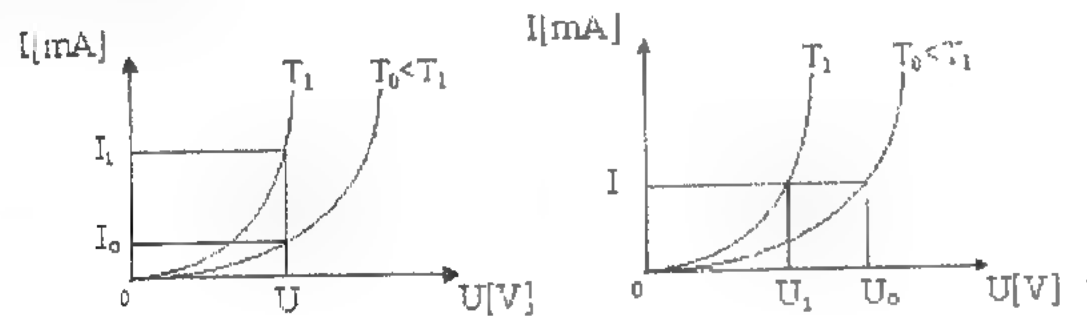


fig. 2.2.

În practică se preferă menținerea constantă a curentului și determinarea scăderii de tensiune. Astfel tensiunea pe dioda direct polarizată va avea expresia:

$$U = U_n + \frac{kT}{q} \ln I - \frac{kT}{q} m \ln T - \frac{kT}{q} \ln C \quad (2.2.)$$

unde  $q$  sarcina electronului  
 $k$  constanta lui Boltzmann  
 $T$  temperatura absolută  
 $U_n$  diferența de potențial corespunzător benzii interzise  
 $m$  constantă de material  
 $C$  constantă care depinde de geometria diodei, independent de temperatură.

Dacă se cunoaște tensiunea  $U_1$  pentru temperatura  $T_1$  relația de mai sus devine:

$$U = U_1 \frac{T}{T_1} + U_n \left( 1 - \frac{T}{T_1} \right) + m \frac{kT}{q} \ln \frac{T}{T_1} \quad (2.3)$$

Din ecuație rezultă prezența unei neliniarități și condiția de interschimbabilitate, adică la temperatura  $T=T_1$  tensiunea să fie aceeași  $U = U_1$  respectiv diodele să aibă același  $m$ , același material

Măsurarea temperaturii se face pe domeniul  $50 \div 150^\circ\text{C}$ .

Sensibilitatea se exprimă cu relația:

$$\frac{dU}{dT} = -m \frac{k}{q} + \frac{1}{T} (U - U_n) \quad (2.4)$$

și are valoarea de  $1,8 \div 2 \text{ mV}^\circ\text{C}$

Funcționarea este influențat de variația tensiunii de alimentare.

În practică se folosesc și diode dar mai ales tranzistoare în montaj de diodă, adică se folosește numai o joncțiune a tranzistorului (baza se leagă la colector).

## 3. Termorezistențe

La modificarea temperaturii se modifică energia internă a materialului și au loc o serie de schimbări privind: rețeaua cristalină, agitația termică, dimensiune care conduc la modificarea rezistenței electrice a materialului

Rezistența electrică apare în primul rând datorită agitației termice, impurităților, defectelor de rețea. La variația temperaturii se modifică mobilitate purtătorilor de sarcină și conductibilitatea. Variația rezistenței electrice se datorește modificării rezistivității și modificării dimensiunilor. Deoarece coeficientul de dilatare este cu o ordine de mărime mai mică decât coeficientul de variație a rezistivității cu temperatura, în cazul metalelor modificarea de dimensiune se neglijează. Prezența impurităților în metale conduce la scăderea sensibilității. Din acest motiv se folosesc pentru realizarea termorezistențelor metale cât mai pure.

Relația de legătură între rezistența electrică și temperatură:

$$R = R_0 [1 + \alpha_T (T - T_0)] \quad (2.5)$$

Cerințe după care se face alegerea materialelor pentru termorezistențe

- $\alpha_T$  coeficient de variație a rezistivității mare pentru a obține o sensibilitate mare
- $R_0$  rezistența la temperatura inițială să fie mare pentru a realiza termorezistențe de dimensiuni cât mai mici, respectiv pentru a putea neglija rezistența firului, legătură și de contact
- liniaritate bună a caracteristicii pentru a nu necesita liniarizări ulterioare
- stabilitate în timp și la agenți chimici a parametrilor pentru a avea o bună reproductibilitate
- asigurarea unei purități cât mai ridicate
- ușor de realizat și preț de cost mic

Modul de variație a rezistenței cu temperatura  $R_T$  raportat la rezistența inițială  $R_0$ , câteva metale folosite pentru realizarea termorezistențelor se prezintă pe figura 2.3

Platina satisface aproape toate cerințele cu excepția prețului de cost. Se poate realiza într-o puritate foarte mare, de unde rezultă o bună reproductibilitate. Nu prezintă modificări de structură cristalină, este stabil în timp. Este inactiv chimic. Ca traductor folosește în intervalul de  $-200 \div +600^\circ\text{C}$ . Se folosește pentru realizarea etaloanelor de temperatură în intervalul  $0 \div 600^\circ\text{C}$

Legea de variație a rezistivității pentru temperaturi pozitive este

$$R_T = R_0 \left[ 1 + \alpha_1 (T - T_0) + \alpha_2' (T - T_0)^2 \right] \quad (2.6)$$

Legea de variație a rezistivității pentru temperaturi negative este

$$R_T = R_0 \left[ 1 + \alpha_1 (T - T_0) + \alpha_2' (T - T_0)^2 + \alpha_2'' (T - T_0)^3 \right] \quad (2.7)$$

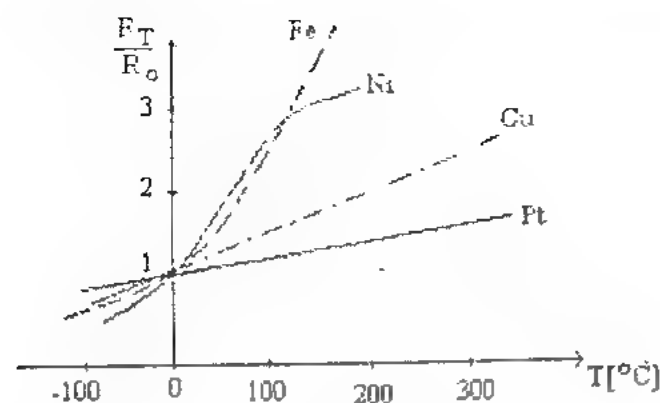


fig 2.3

Cuprul are o sensibilitate mai ridicată și o lege de variație liniară, dar se folosesc numai pe un interval mai restrâns deoarece prezintă activități chimice mari, se oxidează foarte repede mai ales la temperaturi mari. Are o rezistivitate scăzută de unde rezultă gabarite mari pentru traductoare. Domeniul de utilizare este cuprins între  $-50 \div +180^\circ\text{C}$ .

Nichelul are o rezistivitate mare, sensibilitate ridicată dar caracteristică neliniară. Este mai puțin folosit pentru că prezintă o schimbare a rețelei cristaline în jurul temperaturii  $350^\circ\text{C}$ . Se oxidează și este atacat de agenți corozivi mai ales la temperaturi ridicate. Are o lege de variație a rezistivității complicată. Se folosește pe un domeniu restrâns de temperatură  $-100 \div +250^\circ\text{C}$ .

Fierul are sensibilitatea cea mai ridicată totuși este puțin folosit din cauza caracteristicii puternic neliniare. Nu este rezistent la agenți chimici, corozivi.

Wolframul are o sensibilitate și liniaritate superioară platinei, este rar folosit din cauza modificării structurii cristaline în timp.

Rezistența nominală a termorezistențelor se dă la temperatura  $0^\circ\text{C}$  și poate fi 25, 50, 100, 500, 1000  $\Omega$ . Ultimele valori se utilizează mai ales pentru temperaturi joase. Ele se fabrică cu 3 sau 4 borne de acces pentru a elimina influența conductoarelor de legătură. Constructiv ele se protejează împotriva acțiunii agenților exteriori, trebuie să preia rapid temperatura mediului, să nu fie influențat de dilatare și să permită funcționarea atât în curent continuu cât și în curent alternativ.

Firul rezistenței are diametrul de ordinul zecilor de micrometri și lungime de zeci de centimetri.

O altă variantă constructivă este filmul de platină care se realizează prin depunere. Inerția termorezistenței obținute este mult mai mică, ca în varianta normală, dar și sensibilitatea este cu 50% mai mică.

Se mai folosesc sonde termorezistive de suprafață, asemănătoare timbrelor tensometrice. Inerția acestora este mică, dar este sensibil și la deformații. Se folosesc pentru fabricarea acestora nichel sau aliaje de feronichel.

Deoarece termorezistențele sunt senzori pasivi, necesită circuite auxiliare de alimentare, ele trebuie introduse într-un circuit. Circuitele de măsurare cu termorezistențe se bazează pe punți de tip Wheatstone în regim dezechilibrat, tensiunea de dezechilibru fiind proporțională cu variația de rezistență, respectiv cu variația de temperatură. Pentru ca măsurarea să fie cât mai exactă trebuie evitat încălzirea termorezistenței datorită curentului

#### 4. Termistoarele

Termistoarele sunt senzori pasivi de tip semiconductor. Pentru fabricarea lor se folosesc amestecuri de oxizi metalici, cum sunt:  $\text{MgO}$ ,  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ,  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CO}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NiO}$ , sau săruri, cum sunt:  $\text{ZnTiO}_4$ ,  $\text{BaTiO}_3$  sinterizate și presate la temperaturi mari. Forma de realizare este foarte diferită: miniaturi de discuri, cilindri, perle sau chiar șurub pentru a putea prelua cât mai repede și bine temperatura mediului. Au un timp de răspuns mic, ordinul milisecundelor, permițând măsurări cvasipunctuale.

Domeniul de temperatură pentru care se folosesc este  $-200 \div +400^\circ\text{C}$ . Sunt sensibile la șocuri termice, au o toleranță de 10%.

Dependența rezistivității de temperatură se poate exprima prin

$$R = R_0 \exp \left( B \cdot \frac{T - T_0}{T \cdot T_0} \right) \quad (2.8.)$$

unde B este o constantă dependentă de material, se poate determina cu relația:

$$B = \frac{2.3(\log R - \log R_0)}{\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}} \quad (2.9)$$

Valoarea lui B este cuprinsă între 2700 și 5400.

Relația dintre B și coeficientul de variație a rezistivității cu temperatura este:

$$\alpha_T = -\frac{B}{T^2} \quad (2.10.)$$

Valoarea nominală a termistorului  $R_0$  se dă la temperatura  $25^\circ\text{C}$ . Valoarea lui respectiv modul de variație a rezistenței, depinde de aliajul folosit și de tratamentele termice la care a fost supus. Pot avea coeficient de variație a rezistivității negative NTC sau pozitive PTC. În practică se utilizează mai des NTC, ai căror rezistivitate scade cu creșterea temperaturii.

Pe figura următoare se prezintă modul de variație a rezistenței al celor două tipuri de termistoare comparativ cu variația rezistenței în cazul metalelor.

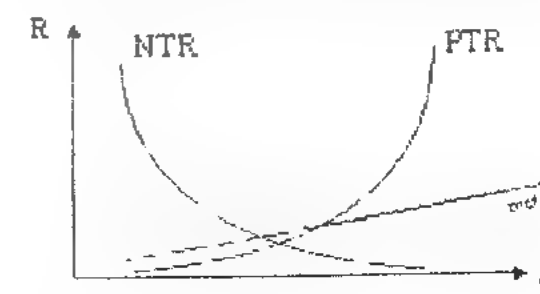


fig 2.4.

Termistoarele pot fi încălzite direct, prin curentul care trece prin ele sau indirect, când vine în contact cu corpul al cărei temperatură se măsoară. Pentru a nu influența măsurătorile, respectiv pentru a evita încălzirea datorată curentului care trece prin termistoare, se limitează curentul sub valoarea de zeci de microamperi, iar puterea maximă disipată sa valoarea de  $P_{\text{max}} = 10\text{mW}$ . Pe figura următoare se prezintă caracteristica de tensiune-curent precum și curba de disipație al termistoarelor.



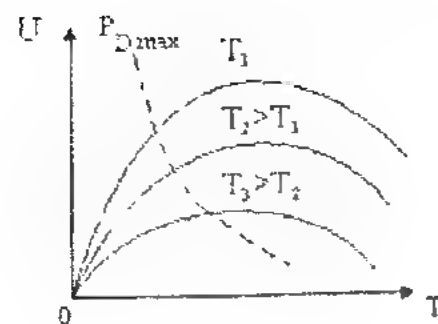


fig 2.5

Schema de măsurare folosită la măsurarea temperaturii cu ajutorul termistoarelor, este cea a unei punți Wheatstone în regim dezechilibrat. Are o sensibilitate variabilă, care scade cu creșterea temperaturii. Curentul maxim ce poate să treacă prin termistor pentru a evita încălzirea acestuia datorită curentului nu trebuie să depășească zeci de  $\mu A$ .

Formele de realizare a termistoarelor sunt: mărgea șaibă, disc, cilindru.

Pentru diferite aplicații s-au realizat termometre cu termistoare cu o rezoluție  $0,01^{\circ}C$ .

## 5. Traductoare de cuarț

Principiul de funcționare se bazează pe modificarea frecvenței proprii de oscilație a variații de temperatură. Frecvența de oscilație proprie este de ordinul MHz și GHz. Sensibilitatea este de  $1000 \text{ Hz}/^{\circ}C$ . Este singurul traductor de temperatură care permite ieșiri numerice fără prelucrare. Timpul de răspuns este de ordinul secundelor. Are o caracteristică liniară. Permite precizii și rezoluții mari.

Legea de variație a frecvenței cu temperatura este.

$$f_T = f_0(1 + aT + bT^2 + cT^3) \quad (2.11.)$$

unde  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , sunt constante care depind de orientarea lamei de cuarț față de axele cristalografice. Când cristalul de cuarț se folosește pentru producerea unei frecvențe de oscilație se caută tăierea cristalului astfel ca sensibilitatea față de temperatură să fie minimă, iar când se folosește ca traductor de temperatură, cristalul se taie după axele după care prezintă sensibilitate maximă cu temperatura (tăietura "LC" - Linear Coefficient)

Pe figura 2.6. se prezintă variația de frecvență cu temperatura

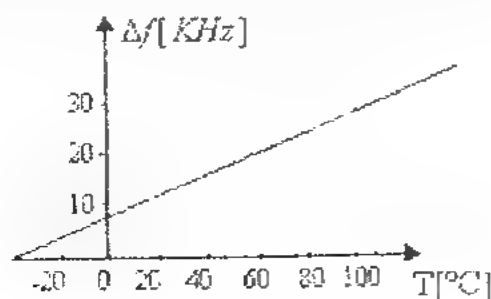


fig 2.6.

Domeniul de utilizare este  $-80 \div +250^{\circ}C$ .

Rezoluția este  $0,0001^{\circ}C$ . Au inerție mică, histereză mai mică ca  $+0,05\%$ .

Cristalul de cuarț se introduce în cutii de oțel umplute cu heliu pentru asigurarea

Schemele de măsurare cu traductorul de cuarț sunt scheme digitale, oscilatoare relaxație. De obicei se folosesc două traductoare, unul fiind de referință, urmate de sumator, iar de la ieșirea acestuia se extrage componenta de joasă frecvență

## 6. Termocupluri

Termocuplul este un traductor activ, furnizează o tensiune termoelectromotoare, e. necesită sursă de alimentare exterioară. Principiul de funcționare a termocuplurilor bazează pe *efectul termoelectric direct* (efectul Seebeck). Aceste constă în apariția unei tensiuni termoelectromotoare într-un circuit format din două conductoare de metal diferită, atunci când cele două joncțiuni se află la temperaturi diferite. Tensiuni termoelectromotoare apărută se exprimă prin:

$$E = a(T_1 - T_2) + b(T_1 - T_2)^2 + c(T_1 - T_2)^3 + \dots \quad (2.12.)$$

unde  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , sunt constante de material, iar  $T_1$  și  $T_2$  sunt temperaturile joncțiunilor.

Explicația fizică a acestui fenomen constă în faptul că la creșterea temperaturii crește mobilitatea purtătorilor de sarcină în mod diferit în cele două materiale. Acesta duce la o migrare a purtătorilor de sarcină de la zone mai calde spre zone mai reci.

Fenomenul invers, este *efectul Peltier*, dacă un termocuplu este parcurs de curent de o anumită polaritate, are loc un transport de căldură de la joncțiunea mai rece la joncțiunea mai caldă.

Utilizarea și construcția termocuplurilor se face pe baza unor legi:

1. *Legea circuitului omogen*: într-un circuit omogen (conductoare de aceeași natură) nu apare tensiune electromotoare, indiferent de diferența de temperatură între diferite puncte. Acesta permite utilizarea unor conductoare de legătură.
2. *Legea metalelor intermediare*: într-un circuit izoterm ( $T = \text{constant}$ ) nu generează tensiune termoelectromotoare indiferent de natura elementelor care formează circuitul. Acesta permite ca lipirea conductoarelor să se facă cu un material, respectiv ca joncțiunea rece să fie formată și din circuitul de măsură, cu condiția ca elementele să fie la aceeași temperatură.
3. *Legea metalelor succesive*: tensiunea termoelectromotoare generată de termocuplu format din conductoarele A și B este egală cu diferența tensiunilor termoelectromotoare generate de termocuplurile formate din conductoarele A și C respectiv C și B, cu condiția ca diferența de temperatură a joncțiunilor să fie aceeași. Pe baza acestei legi se face etalonarea termocuplurilor.
4. *Legea temperaturilor intermediare*: tensiunea termoelectromotoare obținută pentru diferența de temperatură  $T_2 - T_1$  este egală cu suma tensiunilor termoelectromotoare obținute pentru diferențele de temperatură  $T_2 - T_3$  și  $T_3 - T_1$ . Aceasta permite realizarea corecțiilor la schimbarea temperaturilor de referință.  $T_2 - T_1 = (T_2 - T_3) + (T_3 - T_1)$

Simbolul și caracteristica termocuplurilor se prezintă pe figura 2.7

Materialele folosite pentru construcția termocuplurilor trebuie să asigure sensibilitate ridicată, stabilitate în timp și să fie rezistenți la agenți corozivi.

Realizarea joncțiunii dintre cele două metale se face prin răsucire, sudură sau lipire.

Domeniul de temperatură în care se utilizează depinde de tipul conductoarelor folosite, de exemplu cupru-constantan se utilizează până la  $370^{\circ}C$ ,  $Cu-Ni$  până la  $850^{\circ}C$ , chromel-constantan până la  $870^{\circ}C$ , chromel-alumel până la  $1250^{\circ}C$ , cele din platina-rod tungsten-rod sau bor-grafit se pot folosi la temperaturi până la  $2000-2500^{\circ}C$ .

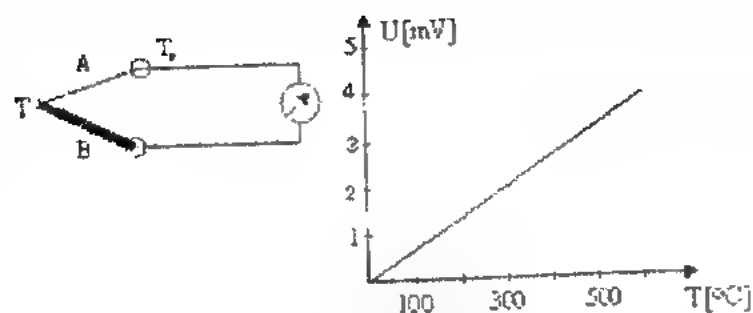


fig.2.7.

Sensibilitatea este variabil în funcție de materiale folosite, în general este de ordinul zecilor de microvolți pe grade Celsius.

Pentru protejarea termocuplelor ele se introduc în teacă de protecție care mărește inerția lor, timpul de răspuns este în jur de 30s. Pot fi folosite și fără teacă, acestea au o inerție mai mare timp de răspuns mai mic și permit măsurarea într-un punct. Cordonul de legătură nu trebuie să depășească 2m și trebuie să aibă secțiuni mari pentru a avea căderi mici de tensiune de-a lungul cablurilor.

Avantaje. -nu au tensiune de offset

-nu este influențat de alte mărimi

-nu necesită polarizări inițiale

Dezavantaje -scade sensibilitatea la temperaturi joase

-prezintă zgomot termic care limitează pragul de sensibilitate

-tensiune termoelectromotoare redusă

-prezintă fenomene de evaporare, contaminare chimică la temperaturi ridicate.

## 7. Traductoare magnetice

Măsurarea temperaturii cu aceste tipuri de traductoare se bazează pe modificarea proprietăților magnetice (variația inductivității) în funcție de temperatură. Este un traductor inductiv al cărei circuit magnetic se închide prin corpul al cărei temperatură se măsoară. Corpul trebuie să fie din material magnetizabil.

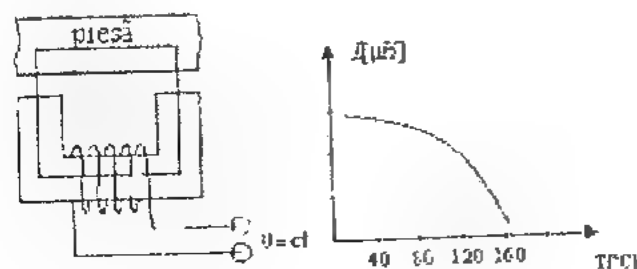


fig.2.8.

Avantajul metodei constă în măsurarea temperaturii fără contact, dar are o caracteristică neliniară, variația inductivității unui miez feromagnetic cu creșterea temperaturii este neliniară, la o tensiune de alimentare constantă.

Pentru mărirea sensibilității se recomandă folosirea unor materiale magnetice cu permeabilitate înaltă pentru partea circuitului magnetic care nu trece prin

## 8. Traductoare pirometrice Pirometrie optică

Traductoarele pirometrice sunt de fapt traductoare mecano-opto-electronice, al cărei funcționare se bazează pe sesizarea și măsurarea radiației termice a corpurilor.

Toate substanțele emit energie radiantă care depinde de temperatura absolută a suprafeței corpurilor respective. Aceste radiații se preiau cu un sistem optic și se centralizează asupra unui detector.

Radiația termică depinde puternic de temperatură și lungimea de undă a acestor radiații sunt predominant în domeniul infraroșu.

Măsurarea se face fără contact, sistemul optic care dirijează radiația se proiectează în funcție de distanță de la care se face măsurarea și poate să fie zeci de metri.

Metoda se folosește mai ales în cazul temperaturilor foarte înalte, peste 1500°C, și corpurilor greu accesibile.

Fenomenele de radiație termică sunt descrise printr-o serie de legi deduse din legile termodinamicii. Aceste legi au fost stabilite pentru un corp *negru absolut* care este un emițător sau un receptor total al energiei radiante. În realitate corpurile nu satisfac această condiție, pentru acesta s-a introdus un coeficient de corecție - *emisivitate* -  $e < 1$ , care depinde de natura corpului și de starea suprafeței, precum și de lungimea de undă a radiației.

Puterea de emisie spectrală pe unitatea de suprafață, pentru o anumită lungime de undă și temperatură, pentru un corp real, este dată de relația lui Planck

$$E_{\lambda,T} = e_2 \frac{c_1}{\lambda^5 \left( \exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1 \right)} \quad (2.13)$$

unde  $c_1$  și  $c_2$  sunt constante.

Puterea de emisie spectrală are un maxim pentru o lungime de undă, se exprimă prin legea lui Wien

$$\lambda_m = \frac{2898}{T} \quad (2.14)$$

unde  $\lambda_m$  este dată în  $\mu m$  și  $T$  în  $^{\circ}K$ .

Puterea de emisie a unui corp real pentru o bandă de lungimi de undă este:

$$E_{\lambda,2} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{\lambda,T} d\lambda \quad (2.15)$$

Puterea de emisie totală se obține cu legea lui Stefan-Boltzmann

$$E = \int_0^{\infty} E_{\lambda,T} d\lambda \quad (2.16)$$

Pe baza legilor de mai sus s-au realizat pirometrele, care pot fi

- pirometre de radiație totală
- pirometre de radiație parțială sau de bandă îngustă (monocromatice)
- pirometre de raport sau bicromatice
- pirometre cu dispariție de filament
- pirometre automate

Lanțul de măsurare pentru orice pirometru presupune ca de la corpul, al cărei temperatură se măsoară, radiația să se poată propaga spre un senzor fotodetector sau termodetector. Pe durate propagării radiației pot apărea erori din cauza atenuărilor atmosferice (vapori de apă, gaze cu CO<sub>2</sub>, fum, praf, etc). Pot apărea erori și din cauza necunoașterii exacte a emisivității. Utilizarea pirometrelor este limitată de caracteristica de sensibilitate a senzorilor, fotodetectorilor

Ca fotodetectori se folosesc fotodiode, fotorezistoare

Pirometre de radiație totală – energia radiată de corpul încălzit este total recepționat. Funcționarea lor se bazează pe legea lui Stefan-Boltzmann și se utilizează un detector de bandă largă. Energia radiată care se recepționează

$$E_{\text{tot}} = \sigma \cdot T^4 \cdot e \quad (2.17)$$

unde  $e$  este emisivitatea, un coeficient de corecție sistematică  
 $\sigma$  constantă de emisie pentru corp negru

Pirometre de radiație parțială – se selectează cu ajutorul unor filtre optice numai o fracțiune din spectrul total de radiație termică emisă de corp.

Aceste tipuri de pirometre au o precizie mai mare deoarece radiația emisă într-o bandă îngustă variază mai puțin, decât în bandă largă. Energia recepționată este mai mică și pentru mărirea sensibilității se folosesc fotodetectori care au sensibilitate maximă în centrul benzii de trecere a filtrului optic.

Schema bloc de funcționare:

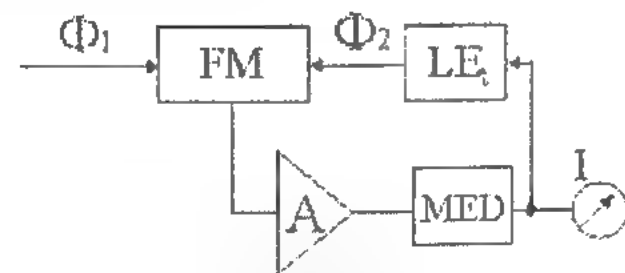


fig. 2.9.

unde: FM – fotomultiplicator  
 $\Phi_1$  – fluxul de la corpul cald  
 $\Phi_2$  – flux etalon  
 $LE_e$  – lampă etalon  
 $A$  – amplificator  
 $MED$  – circuit de mediere care comandă modificarea fluxului  $\Phi_2$  până când  $I_N=0$

De pe  $LE_e$  care se poate etalona direct în temperatură, se citește valoarea lui  $\Phi_2 = \Phi_1$  adică temperatura corpului

Pirometre de raport – sunt compuse din două pirometre monocromatice, care lucrează în două regiuni diferite dar apropiate ale radiației termice. Considerând cele două regiuni centrate pentru lungimile de undă  $\lambda_1$  și  $\lambda_2$  pe baza legii lui Planck se deduce raportul fluxurilor energetice, sau raportul semnalelor energetice la ieșirea detectorilor.

$$R = \left( \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right)^5 \exp \left[ \frac{c_2}{T} \left( \frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right) \right] \quad (2.18)$$

Pe baza acestei relații se determină temperatura indiferent de emisivitatea corpului  
 Intervalul de măsurare este cuprins între 700°C și 2000°C cu o precizie 1-1,5%  
 Schema de principiu:

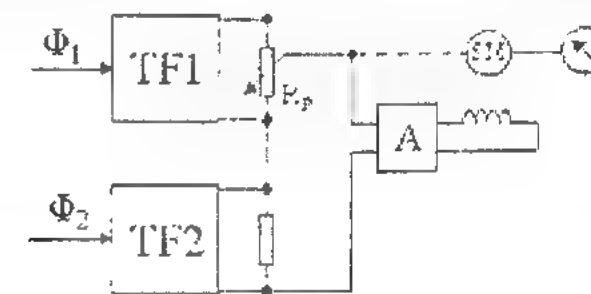


fig 2.10.

unde  $TF_1$  și  $TF_2$  sunt traductoare fotoelectrice identice. Semnalul de ieșire din fotodetectori trece prin amplificator și comandă un sevmotor SM care acționează asupra cursorului potențiometrului  $R_p$  și asupra indicatorului. Cu potențiometrul  $R_p$  se reglează ieșirea lui  $TF_1$  până când cele două intrări în amplificator vor fi egale. Sevmotorul se oprește și aparatul indicator arată temperatura

Pirometre cu dispariție de filament – au același principiu de funcționare. Sunt aparate cele mai utilizate. Au în componența lor o lampă etalon cu filament din wolfram. Metoda de măsurare este una de comparație, se compară strălucirea a două corpuri calde, strălucirea corpului cald și strălucirea lămpii etalon.

Sunt prevăzute cu dispozitive optice de vizare și filtre monocromatice pentru alegerea radiației în domeniul vizibil

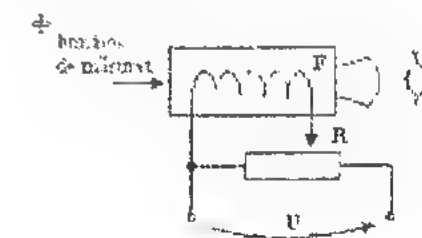


fig. 2.11.

Se privește concomitent strălucirea corpului al cărei temperatură se măsoară și strălucirea filamentului. Se reglează curentul prin filament cu ajutorul potențiometrului  $R$ , prin acesta și strălucirea lui. În momentul în care filamentul dispăre strălucirea celor două corpuri sunt egale deci au temperaturi egale. Curentul prin potențiometrul este o măsură a temperaturii, poate fi gradat direct în grade celsius.

Domeniul de măsurare al acestor aparate este cuprins între 700°C și 1500°C. Folosind atenuatoare optice domeniul se extinde până la 3000°C. Dacă sesizarea dispariției filamentului se face cu fotodetectori domeniul de măsurare se extinde în jos la 500°C

Precizia lor este 1,5 – 2,5 %.



Pirometre automate – sunt pirometre optice, care pot lucra în domeniul vizibil sau infraroșu. Seamănă cu pirometrele cu dispariție de filament, compară energia radiată de corpul cald cu energia unei surse interne de referință.

Este alcătuit dintr-un cap optic și amplificator de măsură. În capul optic este un detector și un comutator optic care expune detectorul, radiației corpului cald alternat cu radiația sursei etalon. Frecvența de comutare este între 50Hz și 100Hz.

Etajul de măsură este alcătuit din amplificator, redresor instrument gradat direct în temperatură. Când radiațiile sunt egale acul indicator se stabilizează și poate fi citit temperatura.

Lucrează în domeniul de temperatură 0 - 3500°C cu o precizie de 1-2%.

## Aparate de măsură pentru traductoare de temperatură

Senzorul, traductorul realizează conversia mărime neelectrică – temperatură – în mărime electrică – tensiune sau curent, dar această mărime electrică trebuie să acționeze asupra unui indicator, înregistrator, memorie sau asupra unui sistem automat de reglare a temperaturii.

Schemele de măsurare și reglare sunt foarte variate, de cele mai multe ori se folosesc scheme de punte care pot funcționa în c.c. sau c.a., în echilibru sau dezechilibru, iar prelucrarea ulterioară depinde de sistemul de utilizare, și poate fi numeric sau analogic.

### 1. Aparate cu tranzistoare și diode

Folosirea elementelor semiconductoare active ca senzor de temperatură se bazează pe modificarea curentului rezidual cu temperatura sau modificarea tensiunii de polarizare bază – emitor  $U_{BE}$  (la curent de emitor  $I_E$  constant) cu temperatura. În primul caz se obține o sensibilitate mai mare, în practică se preferă metoda a doua pentru că asigură o liniaritate mai bună. Se pot dimensiona schemele astfel ca să se obțină o amplificare bună și astfel sensibilitatea crește la sute de mV/°C.

De obicei în locul diodelor se folosesc tranzistoare în conexiune de diodă, baza legată la colector.

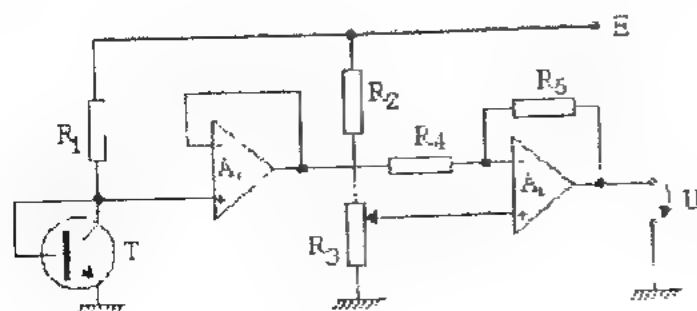


fig. 2.12.

Rezistența  $R_1$  împreună cu sursa de tensiune  $E$  formează un generator de curent constant. La modificarea temperaturii tensiunea de polarizare crește sau scade, tranzistorul se deschide mai mult sau mai puțin. Curentul de emitor fiind constant, căderea de tensiune

intrare. Rezistența  $R_3$  se folosește pentru calibrarea tensiunii. Amplificarea se stabilește prin raportul rezistențelor  $R_5/R_4$ .

Pentru o liniarizare mai bună se folosesc două tranzistoare pereche parcurse de curenți constanți  $I_1$  și  $I_2$ . Conform figurii 2.13, căderile de tensiune pe cele două tranzistoare  $T_1$  și  $T_2$  se exprimă prin:

$$U_1 = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_1}{I_0} \quad U_2 = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_2}{I_0} \quad (2.19.)$$

Diferența de tensiune pe emitoare va fi:

$$\Delta U = U_1 - U_2 = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_1}{I_2} = \frac{kT}{q} \ln(n) \quad (2.20.)$$

Eroarea de neliniaritate pentru schemele cu tranzistoare este mai mică de  $\pm 0,5\%$ .

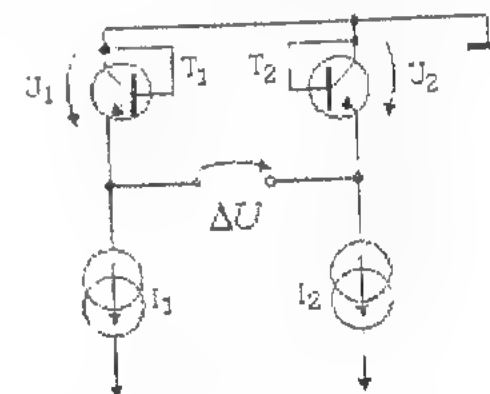


fig. 2.13

Dezavantajul acestor scheme apare la interschimbabilitatea tranzistoarelor din cauza dispersiei parametrilor.

### 2. Aparate cu termorezistențe

Termorezistențele se realizează constructiv în așa fel ca să fie protejate de agenți corozivi externi, să aibă timp de răspuns mic, să nu fie influențate de fenomene de dilatare, respectiv să lucreze în c.c. și c.a. Forma de realizare cea mai răspândită este înălșurată, neinductivă dublu elicoidală pe două plăci de mică sub formă de cruce. Această înălșurare este introdusă într-o teacă de protecție.

Timpul de răspuns este de ordinul secundelor în apă și de ordinul zecilor de secunde în aer.

Termorezistențele sunt senzori pasivi deci trebuie să fie introduse într-o schemă care să asigure și alimentarea lor. Schemele de urmărire a variației rezistenței pot folosi metoda compensatorului de c.c., metoda de punte, sau metoda logometruului magnetoelectric.

Metoda compensatorului constă în folosirea compensatorului de c.c. cu curent constant, în care se compensează căderea de tensiune pe termorezistență cu o cădere de tensiune pe o rezistență reglabilă în trepte și foarte fin, etalonat direct în temperatură. Este o metodă incomodă și nu se folosește în aplicații industriale.

Metoda de punte folosește o punte de tip Wheatstone, într-unul din brațe fiind legată termorezistența. Deoarece senzorul este plasat desul de departe de sistemul de măsurare

reglare, pentru reducerea perturbațiilor, legarea termorezistenței la punte se face cu trei conductoare. Există două posibilități de legare a firelor de legătură.

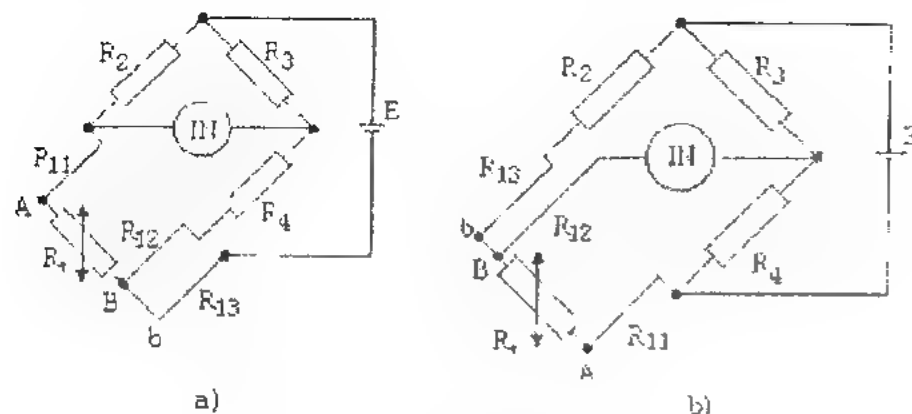


fig. 2.14.

În cazul primei modalități (fig. 2.14a.), legarea la sursă, tensiunea parazită captată de cel de-al treilea fir este legat în serie cu sursa de tensiune și mărește rezistența internă a sursei.

În cazul al doilea (fig. 2.14b.), legarea la indicator, tensiunea parazită se înseriază cu tensiunea de dezechilibru, la fel și rezistența firului se adună cu rezistența aparatului.

Deoarece tensiunea perturbatoare  $U_p$  este mai mare ca tensiunea de dezechilibru  $\Delta U$  și mai mică ca tensiunea sursei  $E$ , se preferă prima modalitate.

Puntea poate lucra în echilibru, în acest caz raportul rezistențelor se alege în domeniul  $R_1/R_2 \in [10^{-3} \rightarrow 10^3]$ . Rezistența  $R_2$  se reglează în trepte cunoscute și etalonat în grade celsius pentru citire temperaturii.

Dacă puntea lucrează în dezechilibru, prima dată se face o echilibrare pentru valoarea nominală a termorezistenței  $R_{T0}$  iar tensiunea de dezechilibru va fi proporțională cu variația de temperatură.

Schemele de măsură sunt incluse în sistemele de reglare a temperaturii, pentru evitarea cuplajelor parazite, respectiv pentru separarea galvanică a părții de comandă de partea de forță, circuitele de măsurare trebuie să fie alimentate de la o altă sursă decât rezistențele de încălzire. De obicei se obișnuiește alimentarea schemei de măsurare cu tensiune continuă 12V sau 24V, iar partea de forță cu tensiune alternativă 220V sau 380V.

Folosirea punților de c.c. în regim dezechilibrat este următorul de obicei de amplificatoare operaționale și apar următoarele probleme:

- creșterea factorului de rejecție în mod comun
- micșorarea derivei termice
- reducerea tensiunii de offset
- liniarizarea caracteristicii

Metoda logometrului magnetoelectric este metoda cea mai simplă. Termorezistența se leagă cu trei fire, firul al treilea se leagă la sursa de alimentare, conform figurii 2.15.

Rezistența firelor de legătură  $R_{L1}$  și  $R_{L2}$  sunt aduse la o valoare nominală de 10  $\Omega$  sau 20  $\Omega$  cu ajutorul rezistențelor de egalizare  $R_{e1}$  și  $R_{e2}$  cu rezistențele  $R_1$  și  $R_2$  se stabilește domeniul de măsurare, iar rezistența  $R_0$  limitează curentul prin termorezistență.

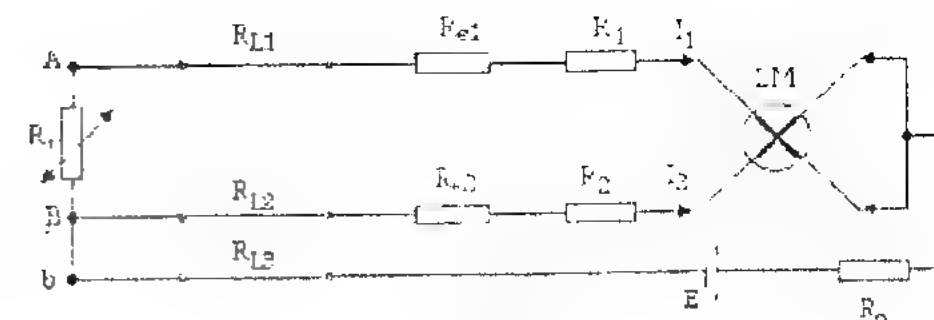


fig. 2.15

Tensiunile parazite sunt inseriate cu tensiunea sursei, rezistențele de linie sunt introduse în brațe diferite, prin ele trec curenți diferiți  $I_1$  și  $I_2$ .

Deviația aparatului depinde de raportul celor doi curenți

$$\alpha = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right) = f\left(\frac{R_1 + R_{L1} + R_{e1} + R_4}{R_{L2} + R_{e2} + R_2}\right) \quad (2.20)$$

Precizia de măsurare depinde de precizia logometrului. Erorile de măsurare sunt mai mici de 1-2%.

### 3. Aparatură cu termistoare

Schema de bază folosită este de tip punte

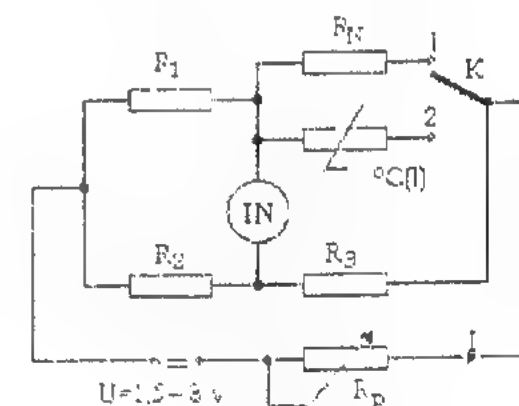


fig. 2.16

Rezistențele  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  sunt rezistențe liniare de mare precizie. Deoarece din caracteristica tensiune-curent al termistorului se poate observa o ambalare din cauza căldurii dezvoltate de curentul care parcurge termistorul, tensiunea de alimentare a punții nu depășește 1,5 – 3V. Rezistența  $R_N = R_0$  rezistența nominală al termistorului la 20°C.

Puntea se echilibrează cu comutatorul K în poziția 1. Apoi cu comutatorul, pe poziția 2 se reglează curentul total I cu ajutorul potențiometrului  $R_p$  ca să se obțină un nou echilibru. Potențiometrul se reglează în trepte fine și este gradat direct în temperatură.

Dacă se lucrează cu puntea în regim dezechilibrat, se face la fel o echilibrare inițială cu comutatorul K pe poziția 1, iar pe poziția 2 instrumentul indică o tensiune proporțională cu temperatura. În locul instrumentului se poate lega un amplificator de instrumentație și tensiunea se poate prelucra pentru reglaje sau transmitere la distanță.

Se folosesc pentru domeniul de temperatură [-70 + 250 °C].

Avantajul termistoarelor este că rezistența nominală, rezistența la 20°C, este suficient de mare ca să nu fie influențat de rezistența firelor de legătură. Schemele sunt mai simple, se reduc dimensionările.

Realizând termistoare sub forma unor plăcuțe mici și introduse într-un palpator se pot realiza aparate portabile pentru măsurarea temperaturii în domeniul [-20 +180°C] cu o eroare de ±1°C și timp de răspuns 20ms.

Pentru cercetări medicale s-au realizat termometre cu termistor pentru domeniul [+30 +41°C] cu o eroare de ±0,05%.

Un alt tip de termometru cu termistor se bazează pe modificarea frecvenței de ieșire. Termistorul face parte dintr-un oscilator Wien.

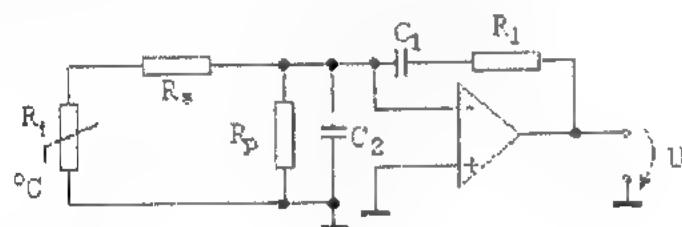


fig. 2.17

Frecvența de oscilație depinde de

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2}}$$

unde  $R_c$  este rezistența echivalentă a rezistențelor  $R_1$ ,  $R_2$  și  $R_3$ . Rezistențele  $R_3$  și  $R_4$  s-au introdus pentru liniarizarea caracteristicii. Pentru domeniul de temperatură [0 +45°C] se obține la ieșire o variație de frecvență [350 – 600Hz] cu o precizie de ±1°C.

Deoarece termistoarele au o caracteristică puternic neliniară este necesară în fiecare caz folosirea unei scheme de liniarizare.

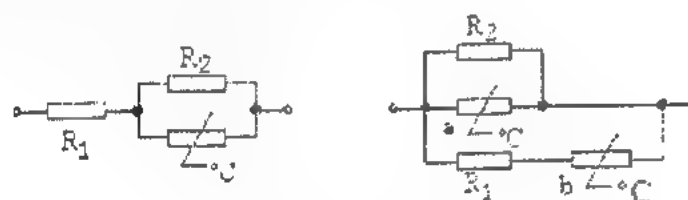


fig 2.18.

Liniarizările reduc performanțele, înrăutățesc caracteristicile dinamice, timpul de răspuns și sensibilitatea.

#### 4. Aparate cu cuarț

Pentru anumite unghiuri de tăiere a cristalului de cuarț, se obține o dependență liniară între frecvența de rezonanță a cuarțului și temperatura mediului ambiant.

$$f_T = f_c [1 + a(T - T_0)]$$

Schema de măsurare trebuie să sesizeze această modificare de frecvență.

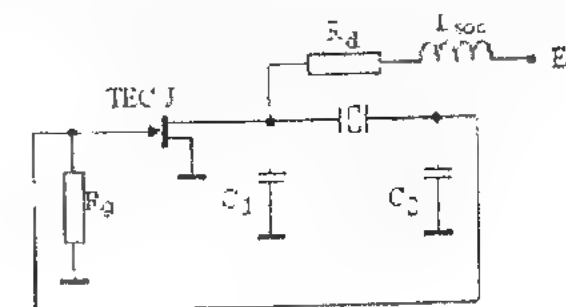


fig 2.19.

În schema de mai sus cristalul de cuarț se prezintă inductiv, rezultând o funcționare ca oscilator de tip Colpits. Tranzistorul TEC-J asigură o impedanță mare de intrare, iar bobina de șoc  $L_s$  realizează separarea în curent alternativ a sursei de alimentare  $E$ .

În schemele practice se folosesc două oscilatoare, cu două traductoare, unul fiind de referință. După un circuit de tip amestec și un filtru trece jos se obține la ieșire componenta de joasă frecvență proporțională cu variația de temperatură.

S-au realizat aparate bazate pe acest principiu de măsurare pentru domeniul de temperatură [-40 +230°C] cu o precizie de 0,0001°C.

#### 5. Aparate cu termocupluri

Tensiunea termoelectromotoare furnizată de termocupluri este foarte mică și depinde mult de diferența de temperatură dintre joncțiunea caldă și joncțiunea rece. Caracteristica acestor elemente sensibile este liniară, tensiunea furnizată nu este influențată de perturbații externe, deci precizia cu care se determină temperatura depinde numai de modul în care se menține constant temperatura joncțiunii reci. Este foarte important cum se leagă termocuplul la circuitul de măsurare. Modul de conectare a termocuplurilor se face pe baza celor patru legi care stau la baza funcționării lor.

Dacă locul în care se montează aparatul are o temperatură constantă, pe baza legii metalelor intermediare, capătul rece se prelungește de la cutia de borne până la sistemul de măsurare. Dacă firele termocuplului sunt din materiale nobile firele de legătură se fac din același material. Pentru termocuple din materiale nobile conductoarele de legătură se fac din materiale de mare conductivitate, de exemplu cupru (fig. 2.20).

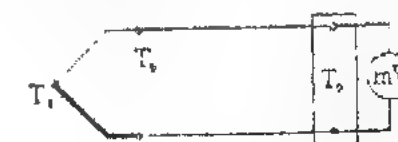


fig 2.20.

În industrie se face termostatarea sudurii reci în două moduri: termostatare la temperatura 0°C printr-o baie cu amestec de apă și gheață, în cazul măsurătorilor de precizie, sau termostatare la 50°C cu ulei. Tensiunea furnizată va corespunde diferenței de temperatură dintre joncțiunea caldă, unde se măsoară temperatura, și temperatura joncțiunii reci, termostatare, independent de temperatura la care se află aparatul de măsură. Dacă variațiile de temperatură sunt mici se folosesc circuite de corecție. Legăturile în acest caz se fac din fire de cupru.



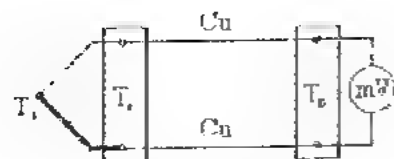


fig. 2.21

O altă modalitate, care se poate folosi pentru termostatare, este utilizarea unui termocuplu identic, al cărei sudură caldă se află la temperatura de referință, iar sudura rece este la aceeași temperatură ca sudura rece a termocuplului principal. Tensiunea furnizată va depinde de diferența de temperatură  $T_1 - T_R$ . Acesta permite schimbarea temperaturii de referință. Firele de legătură se execută și în acest caz din cupru.

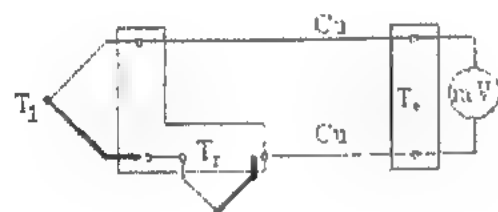


fig 2.22.

O schemă pentru compensarea automată a variației temperaturii mediului ambiant, deci al sudurii reci, este utilizarea unei termorezistențe sau a unui termistor conectat într-o punte alimentat de la o sursă de tensiune.

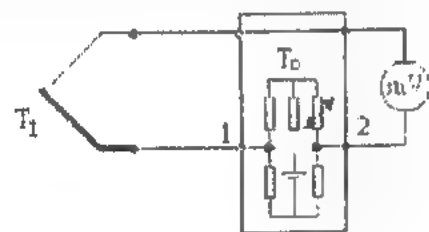


fig 2 23.

Termorezistența se plasează la locul cu temperatura de referință, puntea se echilibrează pentru această temperatură  $T_0$ . Deci  $U_{AB}=0$  și tensiunea indicată de aparat va corespunde diferenței de temperatură dintre joncțiunea caldă și mediul ambiant. Dacă temperatura mediului se modifică, puntea se dezechilibrează, tensiunea de dezechilibru va corespunde variației de temperatură

$$U_{AB} = E \cdot \frac{\Delta R_T \cdot R_4}{(R_T + R_2)(R_3 + R_4)} \quad (2.21)$$

Alegând în mod convenabil elementele punții și traductorul se realizează compensarea variației tensiunii termoelectromotoare datorită modificării temperaturii mediului.

$$\Delta U = S(T_0 - T_a) = U_{am} \quad (2.22)$$

unde S este sensibilitatea traductorului. Tensiunea măsurată de instrument este

$$U_T = U_{TC} - U_{AB} = k[(T_1 - T_a) - (T_0 - T_a)] = k(T_1 - T_0) \quad (2.23)$$

Circuitele de măsurare propriu-zise sunt milivoltmetre sau compensatoare de curent continuu. Milivoltmetrele sunt realizate din instrumente magnetoelectrice cu dispozitiv mobil cu suspensie dublă sau pe fire tensionate. În industrie se folosesc aparate de măsură combinate cu servomotoare care permit înregistrarea pe hârtie diagramă și eventual îndreptarea curbelor de compensare.

În instalațiile moderne tensiunea furnizată de termocuple, semnal analogic, se prelucerează cu ajutorul unor circuite având impedanță mare de intrare (circuite de condiționare a semnalelor, filtre, amplificatoare, convertoare analog-digitale) în semnale numerice, înregistrarea respectiv comanda făcându-se de calculator.

## 6. Aparate cu termobimetale

Aceste aparate nu se pot folosi pentru măsurarea temperaturii, totuși se folosesc pentru decuplarea sau cuplarea unor circuite de mică putere, între anumite limite de temperatură, care se stabilesc prin pretensionarea plăcii bimetalice.

Termobimetalele sunt realizate prin alipirea a două fâșii de metal cu coeficient de dilatație liniară diferit. Dacă se modifică temperatura fâșia bimetalică se curbează, deschizând sau închizând un contact. Curbură se produce lent, datorită căruia apar scântei pentru înlăturarea scânteiilor se recurge la acționarea indirectă a contactului printr-un arc.

Materialele din care se fac:

- componenta activă, se face din aliaje de Mn-Ni-Cu sau Ni-Mn-Fe sau Ni
  - componenta pasivă se confecționează din invar (36% Ni și 64% Fe)
- Se folosesc pe domeniul de temperatură  $[-50 + 400^\circ\text{C}]$ , la uscător de păr sau protecție minimală sau maximală de curent.

### Capitolul 3.

## TRADUCTOARE PENTRU MĂRIMI GEOMETRICE

Măsurarea mărimilor geometrice prezintă importanță în comanda respectiv funcționarea roboților.

Măsurarea mărimilor geometrice este legată de un sistem de referință față de care orice punct are o poziție. Schimbarea acestei poziții reprezintă o deplasare. Spațiul dintre cele două puncte este o distanță. Starea de apropiere a unui punct față de un reper este proximitate. Deplasările pot fi liniare sau unghiulare.

Cu ajutorul mărimilor geometrice mai sus amintite se pot caracteriza dimensiunea corpurilor, se poate determina rectilinitatea (abaterea față de direcția de referință), planitatea (abaterea față de planul de referință), rugozitatea (calitatea de prelucrare a suprafeței).

Măsurarea mărimilor geometrice se poate face prin metode absolute, se determină direct valoarea absolută a mărimii, sau metode relative, se stabilește numai o abatere.

În cazul determinării mărimilor geometrice ocupă un loc important sistemele de poziționare și traductorul folosit. În multe cazuri se folosesc subansambluri mecanice care ajută la realizarea unor funcții suplimentare în procesul de măsurare.

### 1. Traductoare pentru deplasări liniare mici

Deplasări mici sunt considerate deplasări de ordinul  $(10^{-2} \div 10^2 \text{ mm})$ .

Pentru aceste tipuri de deplasări se folosesc traductoare pasive inductive, capacitive sau rezistive.

#### Traductoare inductive

Variația deplasării se poate sesiza pe două căi: prin modificarea inductivității proprii sau mutuale cauzată de deplasarea unui miez în interiorul bobinei, sau prin modificarea inductivității datorită variației grosimii întrefierului.

La varianta cu miez mobil miezul magnetic se deplasează sub acțiunea mărimii de măsurat în interiorul unei bobine și provoacă variația inductivității proprii a bobinei după o caracteristică neliniară. Au circuitul magnetic deschis. Se folosesc la măsurarea deplasărilor cuprinse între 5-30 mm.

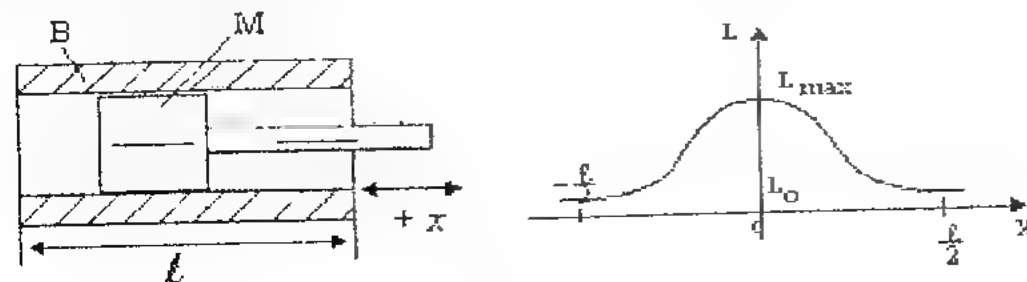


fig 3.1.

Pentru înlăturarea influențelor parazite și linearizarea caracteristicii se folosește o variantă diferențială. Acestea conține două bobine una lângă alta, iar miezul când se deplasează intră mai mult în una din bobine și iese din cealaltă bobină. Aceste tipuri de traductoare au o sensibilitate mai mare, poziția de zero se consideră la mijloc, deci se pot măsura deplasări în două direcții.

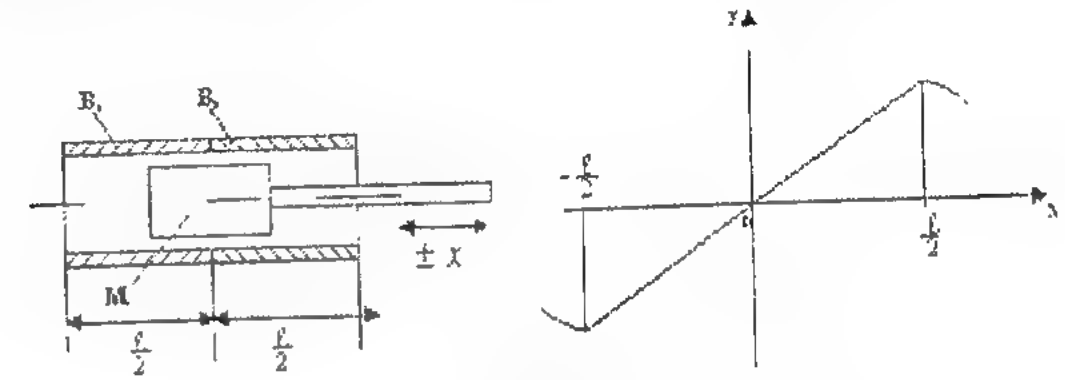


fig 3.2.

Domeniul de măsurare în acest caz se extinde între limitele  $\pm 10 \div \pm 150 \text{ mm}$ .

Schema de măsurare folosită pentru aceste traductoare este cea a unei punți de curent alternativ, în care bobinele se plasează în două brațe alăturate (montaj diferențial), puntea lucrează în regim dezechilibrat și furnizează o tensiune proporțională cu deplasarea.

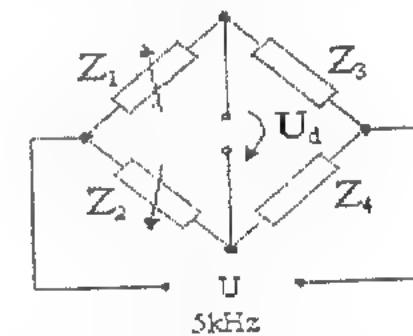


fig 3.3

Impedanțele celor două bobine pentru o deplasare  $x$ :

$$Z_1(x) = j\omega(L + \Delta L) + r \text{ și respectiv } Z_2(-x) = j\omega(L - \Delta L) + r$$

Tensiunea de dezechilibru va fi:

$$U_d = U \frac{2j\omega\Delta L R}{(j\omega L + r + R)^2 + \omega^2(\Delta L)^2} \quad (3.1.)$$

Din relație se poate observa tensiunea de dezechilibru este cu atât mai mare cu cât diferența  $\Delta L$  este mai mare.

Variantă transformatorului diferențial este alcătuită dintr-o înfășurare primară și două înfășurări secundare. Primarul se alimentează în c.a. iar în bobinele secundare se induc tensiuni egale când miezul se află la mijloc. Bobinele secundare se legă diferențial, deci la o deplasare nulă (miezul în poziția de mijloc) tensiunea din secundar este zero. La modificarea poziției miezului, tensiunile induse în secundare va fi diferite, suma lor va fi diferită de zero. Din semnul tensiunii (pozitiv sau negativ) se poate deduce direcția de deplasare a miezului.

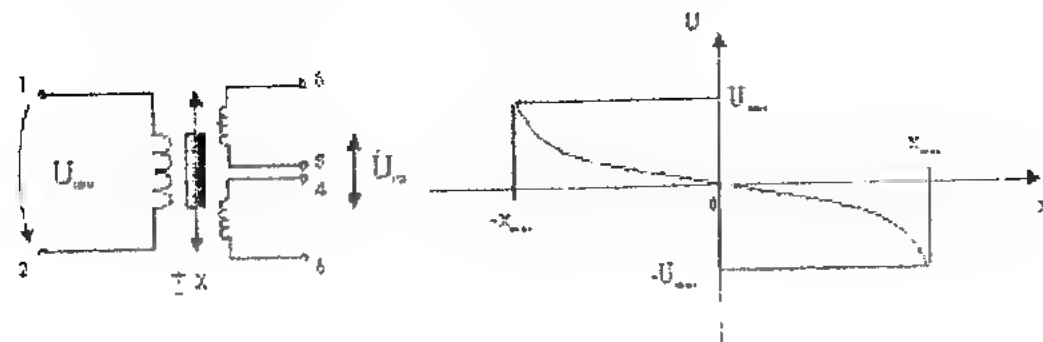


fig. 3.4.

Avantajele traductoarelor de tip transformator:

- partea mobilă este izolată de partea electrică,
- se asigură o separare galvanică între primar și secundar,
- lipsa frecărilor asigură durată de viață lungă,
- insensibil la deplasări radiale ale miezului,
- permite obținerea unor rejecții puternice a tensiunilor de mod comun,
- tensiunea de ieșire se poate prelucra ușor,
- rezoluție și reproductibilitate bună.

Există variante constructive la care inductivitatea proprie se modifică datorită deplasării unei armături mobile, deci variază întrefierul. Armătura mobilă este solitară cu corpul al cărei deplasare se măsoară. La deplasarea armăturii mobile se modifică lățimea întrefierului. Aceste traductoare au circuitul magnetic închis și se modifică lungimea circuitului magnetic prin modificarea lățimii întrefierului. Mărimea de intrare este grosimea întrefierului  $\delta$ . Pe acest contur închis  $\Gamma$  se poate aplica legea circuitului magnetic.

$$\oint_{\Gamma} \vec{H} \cdot d\vec{l} = NI \Rightarrow NI = H_f l_f + 2H_0 \delta \quad (3.2.)$$

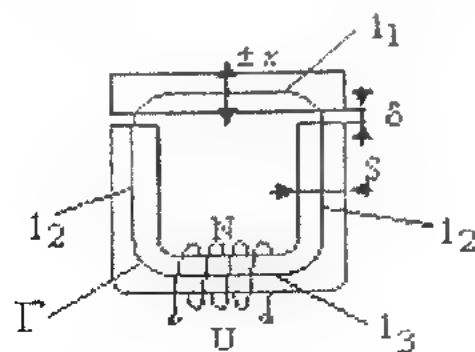


fig 3.5.

La variația întrefierului se modifică reluctanța circuitului magnetic. Expresia inductivității în acest caz se exprimă prin

$$L = \frac{N^2}{\sum_{k=1}^n \frac{l_k}{\mu_k S_k}} \quad (3.3)$$

unde  $S_k$  este secțiunea porțiunilor care alcătuiesc circuitul magnetic  
 $\mu_k$  permeabilitatea porțiunilor care alcătuiesc circuitul magnetic  
 $l_k = l_1 + 2l_2 + l_3 + 2\delta$  este lungimea porțiunilor care alcătuiesc circuitul magnetic,  
 $\delta$  este lungimea întrefierului

Variația inductivității cu creșterea întrefierului este puternic neliniară.

Liniaritatea se îmbunătățește prin folosirea variantei diferențiale, cele două bobine se leg în brațele alăturate a unei punți Maxwell:

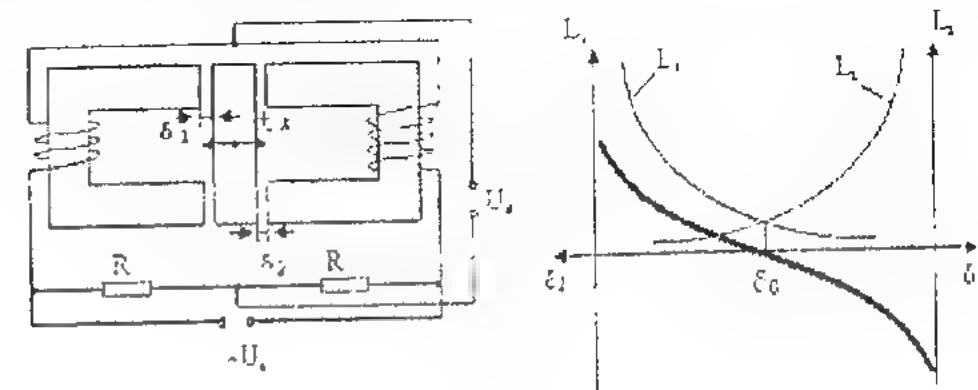


fig. 3.6.

Tensiunea de dezechilibru se poate exprima prin

$$U_d = \frac{U}{2} \cdot \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (3.3)$$

Performanțe:

- gabarit redus, robustețe sporită,
- rezoluție bună ( $10^{-5}$  mm),
- permite protecția împotriva agenților chimici,
- sursa de eroare este modificarea caracteristicilor magnetice prin îmbătrânire,
- se folosește pentru măsurarea distanțelor între 0,01 și 0,5 mm.

#### Traductoare capacitive

Traductoarele capacitive pentru măsurarea deplasărilor se bazează pe condensatorul plan respectiv condensatorul cilindric. Expresia capacității condensatorului plan este.

$$C = \frac{\epsilon \cdot S}{d} \quad (3.4)$$

Din expresia capacității se poate deduce că deplasarea este sesizabilă prin modificarea oricăreia dintre cele trei elemente care determină capacitatea: prin modificarea distanței dintre armături ( $d$ ), prin modificarea suprafeței armăturilor ( $S$ ), sau prin variația permitivității dielectricului folosit ( $\epsilon$ ).

Prin modificarea distanței dintre armături se pot măsura deplasări într-un domeniu restrâns, maxim 2÷3 milimetrii. Variația capacității este neliniară, capacitatea scade cu creșterea distanței dintre armături și peste o anumită distanță traductorul devine insensibil la modificări de distanță

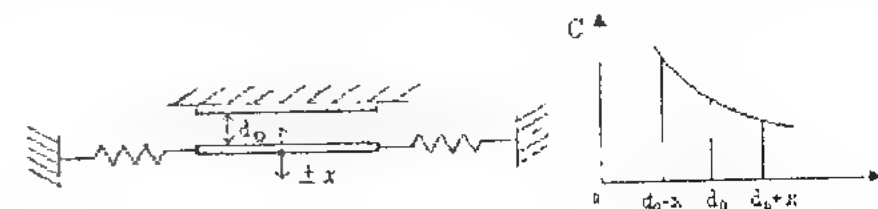


fig 3.7

Din expresia capacității:  $C = \frac{\epsilon \cdot S}{d_0 \pm x}$  se poate deduce sensibilitatea traductorului.  $S = \frac{\Delta C}{\Delta d} = -\frac{\epsilon \cdot S}{d^2}$  care are o variație la fel neliniară, sensibilitatea scade puternic cu distanța. La deplasări de ordinul micronilor sensibilitatea este mai mare. Caracteristica se îmbunătățește prin folosirea unui montaj diferențial.

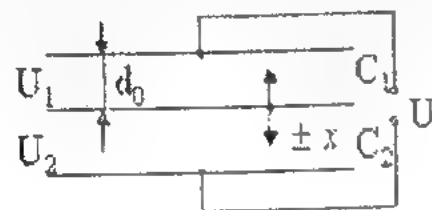


fig.3.8.

La modificarea distanței, crește capacitatea condensatorului  $C_1$  și scade capacitatea lui  $C_2$ , sau invers. Cele două condensatoare se leg în brațele alăturate a unei punți de c.a. Repartizarea tensiunii aplicate între armăturile fixe

$$U_1 = U \frac{d_0 + x}{2d_0} \quad U_2 = U \frac{d_0 - x}{2d_0} \quad (3.5.)$$

Modificarea tensiunii este:

$$U_d = U_1 - U_2 = U \frac{d_0 + x - d_0 + x}{2d_0} = \frac{U}{d_0} x \quad (3.6.)$$

deci rezultă o caracteristică liniară.

Conversia de variații de capacitate în variații de tensiune se face folosind o punte Sauty. Condensatoarele traductorului se leg în brațe alăturate, iar în celelalte brațe se leg rezistențe de valori egale. Puntea se echilibrează pentru poziția de mijloc al armăturii mobile (deplasare zero), tensiune de dezechilibru nul. La o deplasare într-o direcție sau alta a armăturii mobile tensiunea de dezechilibru va fi diferit de zero.

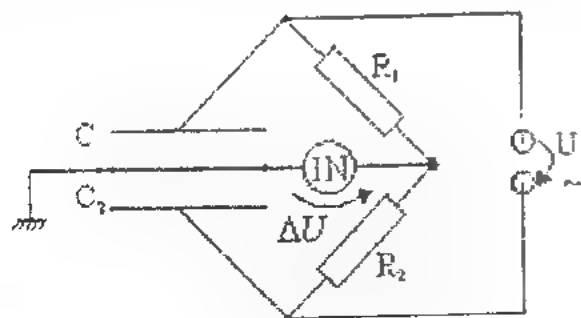


fig 3.9.

Pentru a împiedica deplasările prea mari, deci prevenirea și a unor scurtcircuitări accidentale dintre armătura mobilă și cele fixe, se introduc un strat dielectric între armătura mobilă și cele fixe. În expresia capacității intervin alte două capacități fixe în serie cu cele variabile. În acest scop se folosesc ca izolator mica ( $\epsilon_r \sim 4-8$ ), cuarțul ( $\epsilon_r \sim 4,5$ ) sau porțelan ( $\epsilon_r \sim 6-7$ ). Puntea se alimentează cu o tensiune sinusoidală de frecvență 5kHz.

Se folosește pentru măsurarea distanțelor de ordinul micrometrilor, cu o sensibilitate de  $0,01 \mu m$ .

Pentru a reduce efectul capacităților parazite care apar în raport cu alte conductoare aflate în apropiere, traductoarele capacitive se ecranază.

Prin modificarea suprafeței armăturilor caracteristica după care variază capacitatea în funcție de distanță este mai liniară, în special la deplasări nu prea mici.

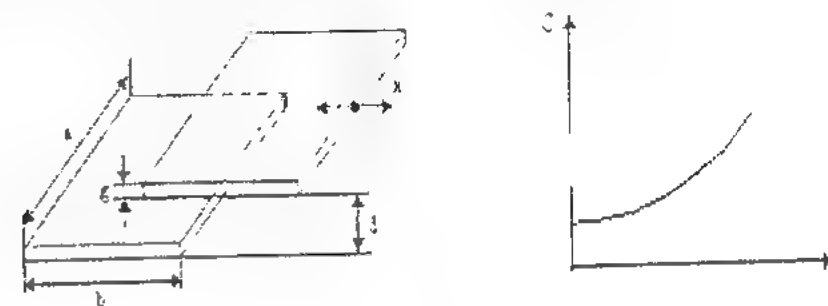


fig.3.10.

Pentru o poziție a armăturilor capacitatea este  $C = \frac{\epsilon \cdot ab}{d}$ , pentru o altă poziție capacitatea devine  $C = \frac{\epsilon \cdot ab'}{d}$ .

De aici se poate deduce expresia sensibilității traductorului în acest caz

$$S = \frac{\Delta C}{\Delta x} = -\frac{\epsilon \cdot a}{d} \quad (3.7.)$$

O suprafață mai mare și o distanță mai mică dintre armături mărește sensibilitatea traductorului. Sensibilitatea se mai poate mări prin legarea în paralel a mai multor celule identice de capacități.

La varianta în care se modifică dielectricul se realizează un condensator plan sau cilindric în care se modifică poziția dielectricului, solidar cu corpul al cărei deplasare se măsoară. Materialul dielectric poate fi solid sau lichid.

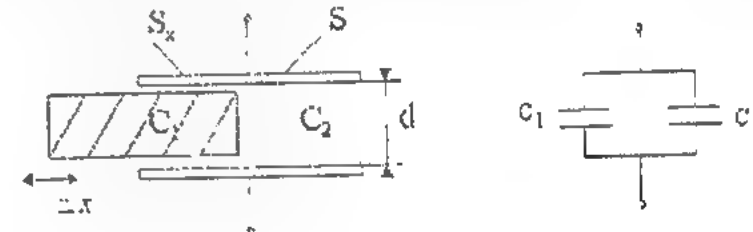


fig. 3.11.

Din schema echivalentă a traductorului se deduce expresia capacității în funcție de deplasare. În cazul condensatorului plan capacitatea va fi.

$$C = C_1 + C_2 = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot S_x}{d} + \frac{\epsilon_0 \cdot (S - S_x)}{d} \quad (3.8.)$$

În cazul utilizării condensatorului cilindric capacitatea va fi.

$$C = 2\pi \frac{\epsilon_0 \cdot x}{\ln D/d} + 2\pi \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot (l - x)}{\ln D/d} \quad (3.9.)$$



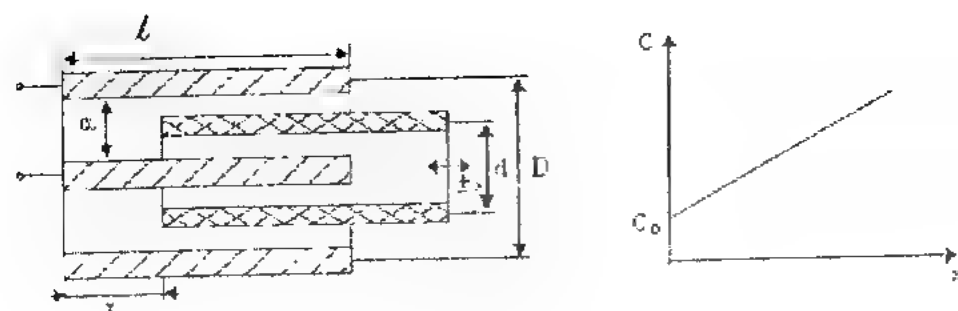


fig.3.12

Caracteristica are o variație liniară cu deplasarea, de la o valoare minimă  $C_0$  când nu este niciun dielectric între armături.

Aceste tipuri de traductoare își modifică capacitatea între 20 și 200pF. Necesită ecranări speciale. Se leagă în punți tip Sauty care se alimentează cu tensiune alternativă de frecvență cuprinsă între 100kHz și 5MHz.

### Traductoare rezistive

Traductoarele rezistive bobinate sau cu pistă conductoare pot fi folosite la măsurarea deplasărilor liniare de ordinul centimetrilor. Sunt ușor realizabile, pe un suport izolator se dispune o înfășurare din conductoare cu rezistivitate mare, spirală lângă spirală. Spirele sunt izolate între ele, partea superioară este polizată pentru a face contact cu cursorul care se deplasează de-a lungul traductorului măsurând spirele. Materiale folosite pentru realizarea conductorului sunt constantan (60%Cu și 40%Ni), manganina, aliajele Ni-Cr, Ni-Cr-Fe, și rareori aliaje pe bază de aur, argint sau paladiu. Pentru materialul cursorului se utilizează grafit sau cupru-grafitat, trebuie să aibă rezistență mare la uzură.

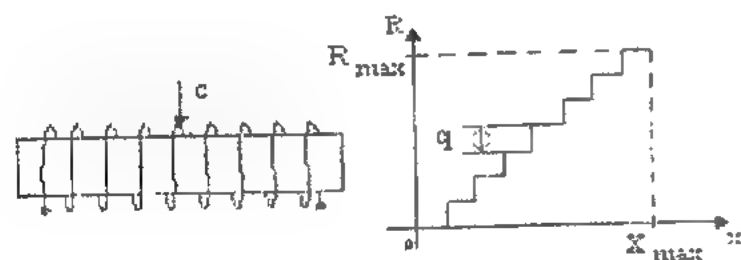


fig 3.13.

Dependența rezistenței traductorului în funcție de poziția cursorului este liniară în trepte. Rezoluția este  $q=l/w$ , unde  $l$  este lungimea totală a firului și  $w$  este numărul de spire.

Traductoarele rezistive au o serie de erori datorate jocurilor mecanice, rezistenței de contact între cursor și firul de rezistență, dat de caracteristica liniară în trepte, respectiv dat de variația neuniformă a rezistenței deoarece cursorul poate călca deodată pe o singură spirală sau pe două spire, caz în care o spirală este scurtcircuitată.

Diametrul conductorului nu depășește 0,05mm, pentru conductoare mai subțiri uzura mecanică devine importantă.

Rezistența nominală a traductoarelor este cuprinsă între 100Ω și 100kΩ și se execută cu o toleranță de ±10%.

Nelinaritatea este între 0,1% și 1%, neliniaritățile apărând de obicei la începutul și sfârșitul cursei traductorului.

Viteza de deplasare a cursorului este indicat de fabricant și este de circa 1m/s.

Avantaje: rezoluție, preț de cost, liniaritate bună, circuite de măsurare simple.

Dezavantaje: forța de acționare mare, prezența frecărilor este o sursă de zgomot, este influențat de umiditate, praf, vibrații, șocuri.

Numărul maxim de acționări este cuprins între  $10^6$  și  $10^8$ .

Traductoarele rezistive pot fi folosite în două variante. În montaj reostatic și în montaj potențiometric.

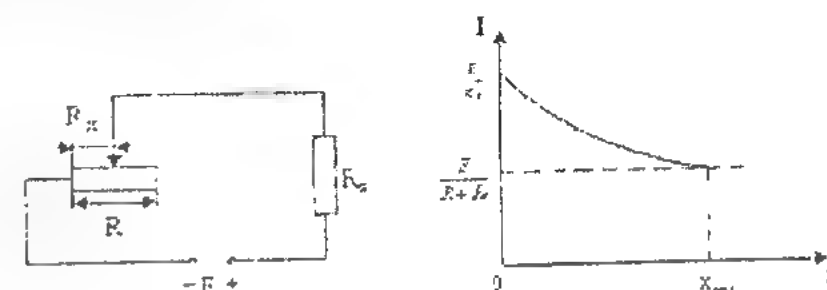


fig.3.14.

În montaj reostatic caracteristica este neliniară, de aceea se folosește mai rar.

Variația curentului în funcție de rezistența traductorului:

$$I_x = \frac{E}{R_s + R_x} \quad (3.10)$$

În montaj potențiometric caracteristica poate fi făcută liniară în funcție de rezistența de sarcină:

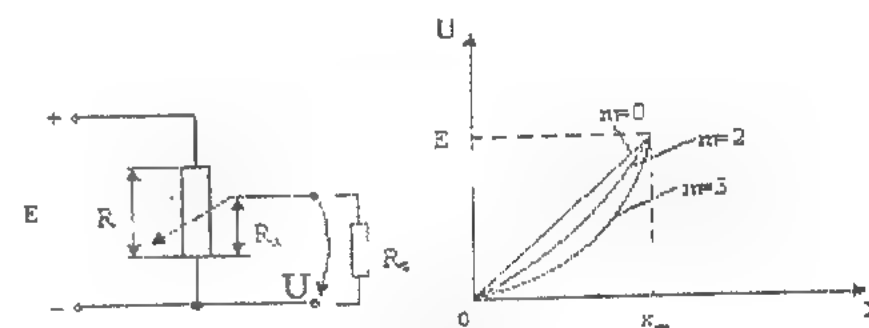


fig.3.15

Variația tensiunii în funcție de rezistența traductorului:

$$U_x = \frac{E}{m \frac{R_x}{R} \left( 1 - \frac{R_x}{R} \right) + 1} \quad (3.11)$$

unde  $m=R/R_s$  este coeficient de încărcare, caracteristica este liniară pentru cazul în care rezistența de sarcină este mare ( $R_s \rightarrow \infty$ ).

Traductoarele rezistive trebuie să fie protejate împotriva prafului, mediilor corozive și trebuie verificate periodic datorită uzurii mecanice.

## Circuite de măsurare pentru traductoare de deplasare liniară

Din cauza construcției traductoarelor precum și datorită cuplărilor mecanice dintre traductor și obiectul care se deplasează apar elemente parazite, care trebuia luate în considerație la legarea traductorului în circuitele de măsurare.

Traductoarele inductive realizate sub formă de bobină prezintă o rezistență în c.c. sau la frecvențe joase dat de rezistența firului din care se bobinează

$$R_l = \rho \frac{l}{\pi \cdot r^2} \quad (3.12.)$$

unde  $r$  este raza conductorului. Această rezistență variază cu frecvența deoarece la frecvențe mari apare fenomenul de refluxare, curentul va circula numai într-o adâncime de pătrundere  $\delta$  din raza conductorului.

Firul din care se execută bobinajul este izolat pe exterior, la înfășurarea lui pe un suport izolator apare o capacitate parazită dintre spire, respectiv o capacitate parazită datorată firelor de legătură. Acestea este de ordinul sutelor de picofarazi.

La trecerea curentului apar pierderi specifice materialului feromagnetic

- pierderi prin curenți Foucault
- pierderi prin histereză
- pierderi prin relaxare magnetică.

Toate acestea luate în considerație schema echivalentă a traductorului este:

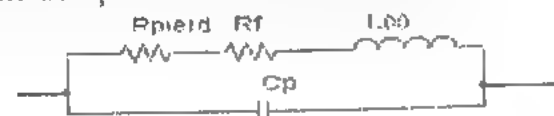


fig.3.16.

Circuitele de măsurare se bazează pe măsurarea inductivității sau capacității proprii (inductanțmetre, capacimetre, Q-metre, punți de c.a.), sau pe sesizarea variației frecvenței oscilatoarelor.

În practică se folosesc foarte des punți de c.a. cu două traductoare montate diferențial.

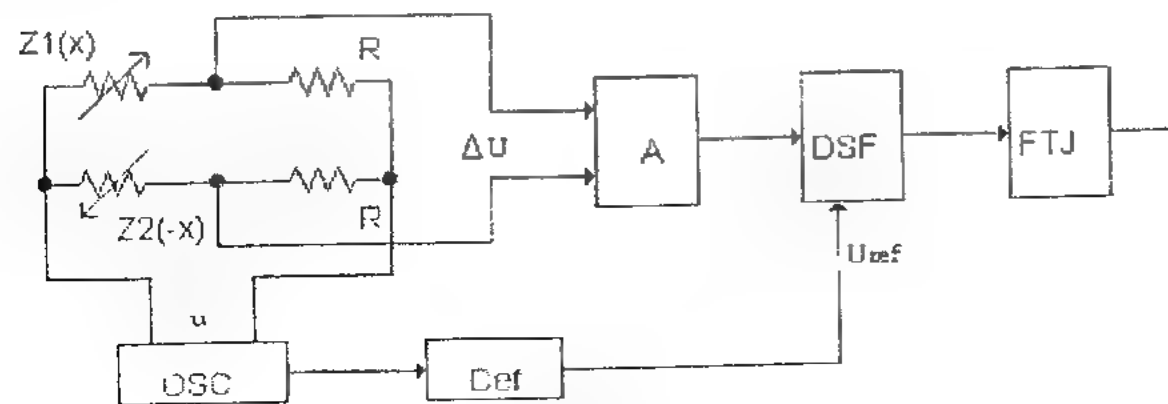


fig.3.17

Pentru obținerea unei sensibilități maxime tensiunea de referință  $U_{ref}$  și tensiunea de dezechilibru  $\Delta U$  trebuie să fie în fază. Pentru acesta se introduce un circuit defazor pentru compensarea defazajelor introduse de punte și amplificator. Filtrul trece jos FTJ extrage componenta de frecvență joasă care conține informația necesară, din tensiunea de ieșire al

detectorului sincron DSF. Frecvența la bornele de alimentare a punții trebuie menținut riguros constant, în caz contrar apar erori cu caracter multiplicator

Oaltă schemă des utilizată este oscilatorul LC, care este un convertor deplasare-inductivitate-frecvență.

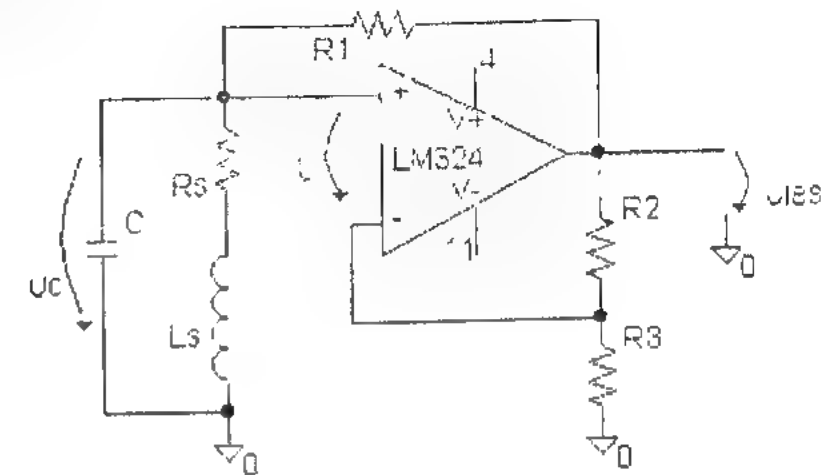


fig.3.18

Frecvența oscilației de bază.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_s C} \sqrt{1 + \frac{1}{Q^2}}} \quad (3.13.)$$

Se poate observa că odată cu creșterea factorului de calitate  $Q$  a bobinei se îmbunătățește liniaritatea caracteristicii.

Pentru traductoare capacitive se folosește punte Sauty de c.a., figura 3.19. Apar capacități parazite între armătura mobilă și pământ  $C_{p1}$  respectiv între armăturile fixe și pământ  $C_{p2}$ , dintre care prima șuntează instrumentul de măsură. Dacă indicatorul de nul sau circuitul de detectare care se folosește în locul lui are o impedanță de intrare mare, se va măsura o tensiune proporțională cu variația de capacități

$$\Delta U = \frac{U}{2} \cdot \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} \quad (3.14.)$$

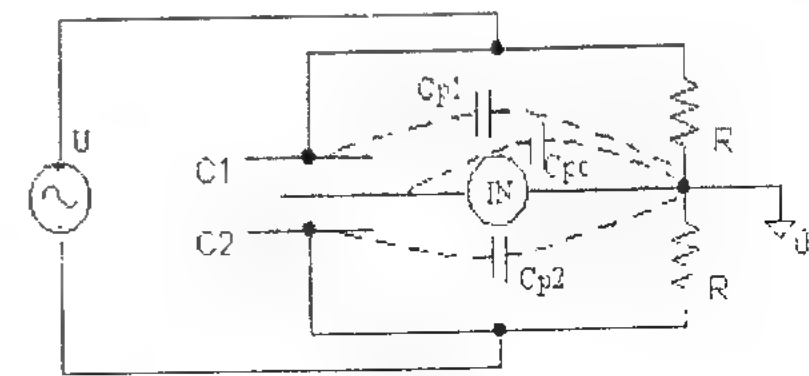


fig 3.19.

Dacă indicatorul de nul are o rezistență internă mică  $r$ , se măsoară un curent care va fi proporțional cu capacitățile  $C_1$  și  $C_2$ .

$$\Delta I = \frac{U}{2} \cdot \frac{C_1 - C_2}{\frac{1}{j\omega} (C_1 + C_2) r + \frac{R}{2}} \quad (3.15.)$$

dacă  $R(C_1 + C_2) \ll 1$  și  $r \ll R$  curentul măsurat este independent de capacitățile parazite

$$\Delta I = \frac{U}{2} j\omega(C_1 - C_2) \quad (3.16.)$$

O altă metodă de măsurare constă în folosirea unui AO ca amplificator de sarcină:

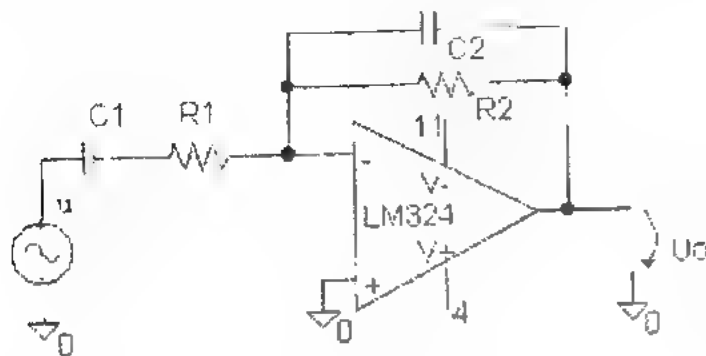


fig.3.20.

Tensiunea de ieșire este:

$$U_o = -U \frac{j\omega \cdot R_2 C_1}{(1 + j\omega R_1 C_1)(1 + j\omega R_2 C_2)} \quad (3.17.)$$

dacă  $\frac{1}{R_2 C_2} \ll \omega \ll \frac{1}{R_1 C_1}$  tensiunea de ieșire are forma.

$$U_o = -\frac{C_1}{C_2} U \quad (3.18.)$$

În cadrul schemei rezistența  $R_1$  protejează intrarea AO și  $R_2$  asigură polarizarea în curent continuu.

Pentru ca caracteristica să fie cât mai liniară este necesar ca  $C_1$  să fie un traductor cu suprafața armăturilor variabilă, sau  $C_2$  să fie un traductor cu distanța dintre armături variabilă.

Senzori capacitivi pot fi folosiți în scheme de oscilatoare LC sau RC, care sunt oscilatoare de relaxare. Schema unui astfel de oscilator se prezintă în figura 3.21a. de mai jos, împreună cu variația tensiunilor la bornele condensatoarelor ( $u_1$ ,  $u_2$ ), la ieșirea triggerului Schmitt ( $u$ ) respectiv la ieșirea oscilatorului ( $U_o$ ), care este ieșirea Q a circuitului basculant bistabil CBB figura 3.21b.

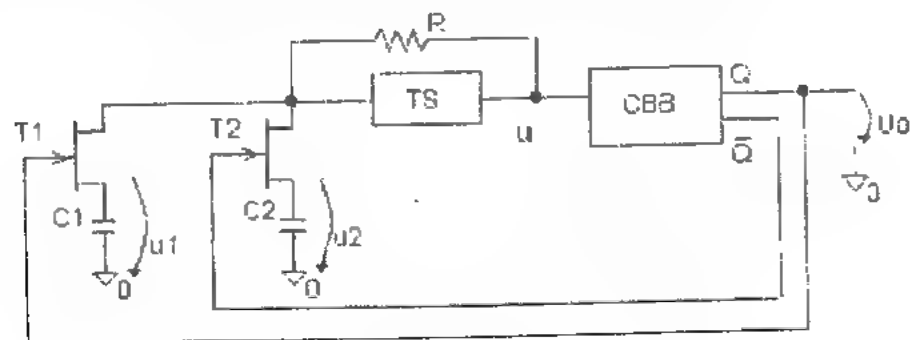


fig. 3.21a.

Informația este conținută în impulsul de durată  $T_1$  când traductorul capacitiv este  $C_1$ , sau în impulsul de durată  $T_2$  când condensatorul  $C_2$  este folosit ca traductor. Avantajul schemei este că impulsurile furnizate sunt de nivel TTL, ele pot fi trimise direct pe liniile de transmisie a informației.

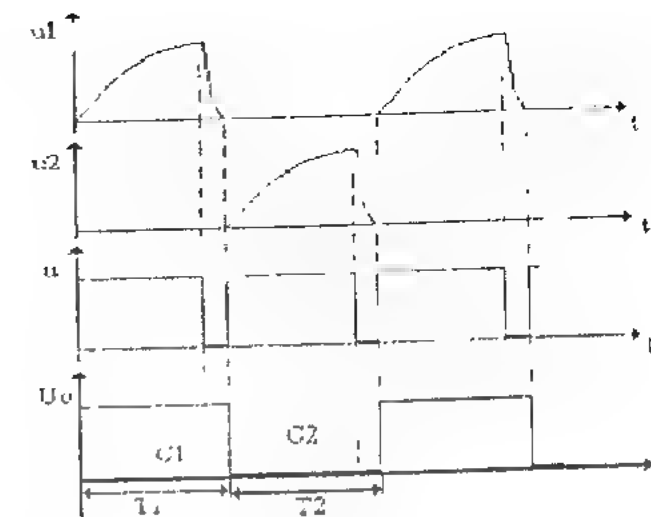


fig. 3.21b

În cazul traductoarelor rezistive varianta reostatică se folosește rar din cauza neliniarității caracteristicii. Pentru varianta potențiometrică sunt mai multe scheme se poate lega direct la intrarea unui AO în montaj inversor (a) sau montaj repetor (b), asigurând în acest caz o impedanță de intrare mare fig. 3.22.

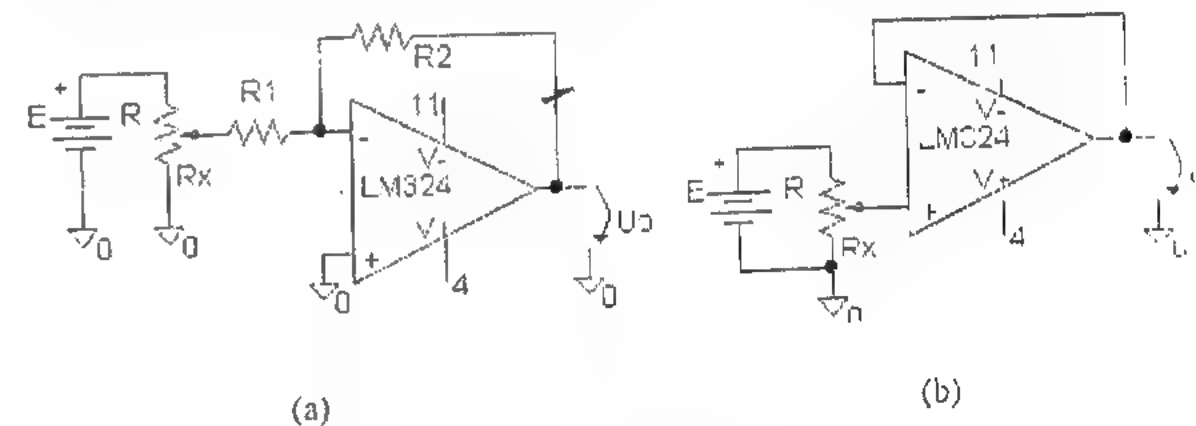


fig. 3.22.

Tensiunea de ieșire în cazul folosirii montajului inversor:

$$U_o = -E \frac{R_2}{R_1} \frac{R_x/R}{1 + \frac{R_x}{R} \left( \frac{R}{R_1} - \frac{R_1}{R} \right)} \quad (3.19.)$$

Reducerea neliniarității se face prin creșterea valorii raportului  $R_1/R$ , adică creșterea rezistenței de intrare.

## 2. Traductoare pentru deplasări unghiulare

La alegerea traductoarelor de deplasare unghiulară trebuie analizat ce dorim defapt să măsurăm. -o deplasare unghiulară într-un domeniu 0-360° sau într-un domeniu 0-180° sau se dorește o măsurare indirectă a unei deplasări liniare (pentru o anumită deplasare liniară îi corespund mai multe rotații complete a traductorului de deplasare unghiulară).

### Traductoare rezistive

Din punct de vedere al construcției, caracteristicilor, rezistențelor nominale, materialelor folosite precum și performanțelor, sunt identice cu traductoare de deplasare liniară. Forma rezistenței spiralate va fi circulară pentru a fi adecvat pentru o deplasare unghiulară. Legea de variație a tensiunii de ieșire în funcție de unghi este:

$$U(\alpha) = \frac{U \cdot \alpha}{\alpha_{\max}} \quad (3.20.)$$

unde  $\alpha_{\max}$  este unghiul maxim care se măsoară

Pot fi construite pentru o singură tură (unitur), unghiul maxim până la care măsoară este 355° sau 358°. Sau pot fi realizate cu mai multe turări (multitur), pentru măsurarea indirectă a deplasării liniare. Suportul pe care se înfășoară rezistența este de formă elicoidală, se fac pentru 3 sau 10 rotații.

### Traductoare capacitive

În acest caz variația capacității se obține prin modificarea suprafeței traductorului. Legea de variație, sensibilitatea este același ca la traductorul de deplasare liniară. Pentru mărirea sensibilității se leg mai multe celule în paralel.



fig. 3.23

### Traductoare inductive

Traductoare inductive sunt de mai multe tipuri. Ca mod de realizare, ele diferă de cele pentru deplasări liniare. Sunt variante cu miez mobil de tip transformator, dar în majoritatea cazurilor este realizat ca un motor cu înfășurări inductoare și induse.

Varianta transformator este alcătuit dintr-un primar și două înfășurări secundare legate diferențial. Cuplajul dintre primar și bobinele secundare se face printr-un rotor din material feromagnetic de formă circulară.

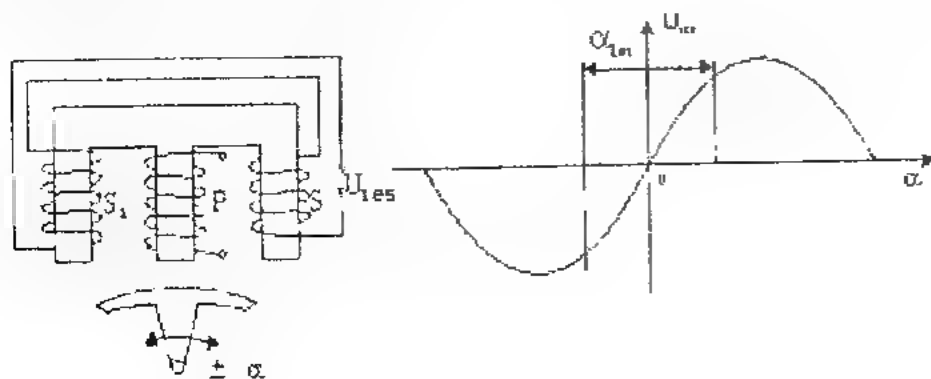


fig. 3.24.

Caracteristica, dependența tensiunii de ieșire de poziția unghiulară a rotorului față de primar și cele două secundare este puternic neliniară. Variația liniară a caracteristicii este pe un domeniu restrâns, deaceia se folosește în domeniul ±40° sau ±60°. Tensiunea de alimentare a primarului este o tensiune sinusoidală cu frecvența cuprinsă între 400Hz și 2kHz.

Microsyn este realizat sub forma unui motor, care are 4 bobine primare și 4 bobine secundare, care alcătuiesc statorul motorului. În interior se rotește rotorul, realizat din material feromagnetic.

Bobinele primare și secundare sunt dispuse perpendicular una pe alta și sunt legate astfel ca tensiunile induse în secundarele S1 și S3 să fie opuse tensiunilor induse în secundarele S2 și S4. La poziția zero tensiunea în secundar este zero, tensiunile induse în bobinele secundare se anulează. La modificarea poziției rotorului se modifică reluctanța bobinelor secundare, tensiunile induse nu se mai anulează și apare la ieșire o tensiune dependentă de poziția unghiulară a rotorului. Caracteristica este și în acest caz neliniară.

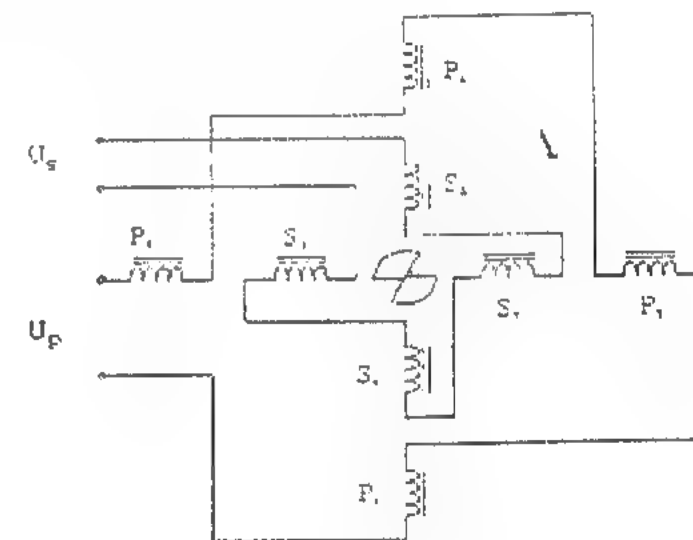


fig. 3.25.

Elementul sensibil selsin poate fi privit ca un transformator de unghi la care raportul de transformare variază cu unghiul dintre o bobină fixă și una mobilă, care se rotește. Sau poate fi privit ca un motor care are un inductor, bobina fixă (stator) și un indus, bobina mobilă (rotor).

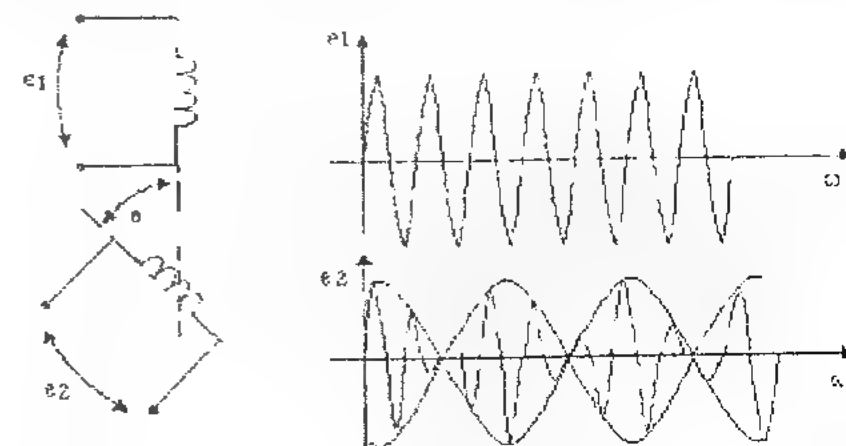


fig. 3.26



Statorul sau inductorul este parcurs de o tensiune de forma  $e_1 = E_1 \cdot \sin \omega \cdot t$ . În rotor se induce o tensiune în funcție de poziția acestuia față de stator și va fi.  $e_2 = E_2 \cdot \cos \theta \cdot \sin \omega \cdot t$ , în care unghiul  $\theta$  este unghiul dintre axele bobinelor

La variația ciclică a unghiului  $\theta$  între 0 și 360° se obține o tensiune sinusoidală, care la fiecare trecere prin zero își schimbă faza. Deci o să avem la ieșire un semnal modulat în amplitudine în funcție de poziția unghiulară a rotorului. Se pot evidenția semirotații, luând în considerare schimbările de fază la trecerile prin zero a tensiunii. Poate fi utilizat pentru măsurarea unghiului sau indirect la măsurarea deplasărilor liniare. Are o precizie și sensibilitate mare.

**Rezolverul** are o construcție și mod de funcționare asemănătoare selsinului. Conține două înfășurări statorice dispuse la 90° una față de alta. În interiorul acestor bobine statorice se rotește bobina mobilă. Unghiul care se măsoară (deplasarea unghiulară) este unghiul față de statorul unu ( $\varphi$ ). În funcție de modul de alimentare a bobinelor și în funcție de forma în care se obține tensiunea de ieșire, există mai multe situații

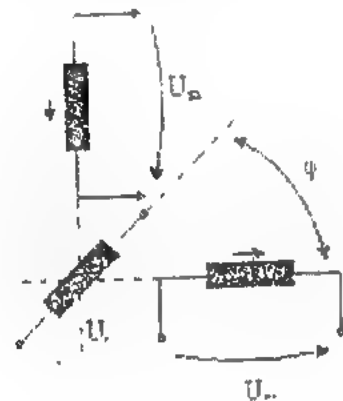


fig. 3.27

Poate fi alimentat rotorul cu o tensiune sinusoidală:  $u_r = U \cdot \sin \omega \cdot t$ , caz în care se induc în cele două înfășurări statorice tensiunile:

$$\begin{aligned} u_{s1} &= U_{s1} \cdot \cos \varphi \cdot \sin \omega \cdot t \\ u_{s2} &= U_{s2} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \omega \cdot t \end{aligned} \quad (3.21.)$$

Din raportul celor două tensiuni se obține tangenta unghiului de măsurat:  $\operatorname{tg} \varphi = \frac{u_{s1}}{u_{s2}}$ .

Această variantă nu este avantajoasă, deoarece obținerea deplasării unghiulare este greoaie.

Alimentarea statorului este mai des folosită. Există două variante. În prima variantă se alimentează bobinele secundare cu tensiunile:

$$\begin{aligned} u_{s1} &= U \cdot \sin \alpha \cdot \sin \omega \cdot t \\ u_{s2} &= U \cdot \cos \alpha \cdot \sin \omega \cdot t \end{aligned} \quad (3.22.)$$

unde  $\alpha$  este unghi de referință, în raport cu care se măsoară deplasarea unghiulară.

Tensiunea indusă în rotor este (rel. 3.23.):

$$u_r = u_{s1} \cdot \cos \varphi \pm u_{s2} \cdot \sin \varphi = U \sin \omega \cdot t (\sin \alpha \cdot \cos \varphi \pm \cos \alpha \cdot \sin \varphi) = U \sin \omega \cdot t \cdot \sin(\alpha \pm \varphi)$$

Semnul  $\pm$  este determinat de sensul de parcurgere a înfășurării, respectiv de sensul de deplasare față de unghiul de referință. Tensiunea obținută este o tensiune modulată în amplitudine, amplitudinea tensiunii de ieșire  $u_r$  depinde de  $\sin(\alpha - \varphi)$ . Funcționarea este asemănătoare ca în cazul selsinului

În varianta a doua înfășurările statorului sunt alimentate cu tensiuni identice dar decalate cu 90° electrice. Aceste tensiuni sunt:

$$\begin{aligned} u_{s1} &= U \sin \omega \cdot t \\ u_{s2} &= U \cos \omega \cdot t \end{aligned} \quad (3.24.)$$

Tensiunea indusă în rotor este:

$$u_r = U (\sin \omega t \cdot \cos \varphi \pm \cos \omega t \cdot \sin \varphi) = U \sin(\omega t \pm \varphi) \quad (3.25.)$$

Tensiunea de ieșire este modulată în fază, faza tensiunii de ieșire este proporțional cu deplasarea unghiulară.

**Modulatorul magnetic** este un mutator magnetic, care transformă o energie electrică într-o altă formă de energie electrică. Are o parte rotorică, un magnet permanent și o parte statorică două înfășurări. Construcția este asemănătoare motoarelor, rotorul se învârtă în interiorul bobinelor statorice. Modulatorul magnetic transformă deplasarea unghiulară a rotorului într-o tensiune alternativă modulată în amplitudine

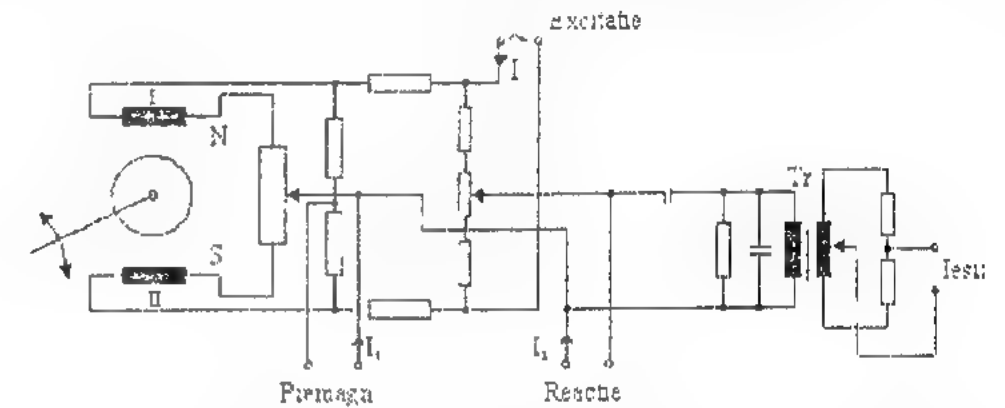


fig. 3.28.

Statorul este de formă toroidală (asamblat din tole inelare din permalloy), pe care se dispun cele două înfășurări I și II. Coaxial cu acestea se află un disc de magnet permanent, care se rotește împreună cu rotorul. Înfășurările statorice sunt parcurse de curenții

- $I_1$  curent de excitație cu amplitudine și frecvență constantă
- $I_2$  curent de reacție proporțional cu semnalul de ieșire  $U_{ies}$
- $I_3$  curent de premagnetizare reglabilă, prin care se alege punctul de funcționare.

Datorită celor trei curenți ( $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ) și fluxul dat de magnetul permanent, prin înfășurări trec patru fluxuri. Miezul toroidal lucrează în zona de saturație.

Cele două înfășurări sunt montate în brațele unei punți de c.a., celelalte brațe fiind alcătuite din rezistențe. La echilibru pe diagonala punții se anulează semnalul de frecvență de bază și rămâne numai armonica a doua.

$$u_{ext}(t) = K H_m \sin \alpha \cdot \sin 2\omega t \quad (3.26.)$$

unde  $H_m$  este intensitatea câmpului magnetic și  $\alpha$  unghiul de rotație a magnetului permanent.

Pentru o anumită poziție a magnetului permanent (al rotorului) amplitudinea componentei de armonica a doua din cele două înfășurări sunt egale și tensiunea de ieșire este zero. Mișcarea rotorului față de această poziție duce la apariția tensiunii de ieșire, al cărei amplitudine depinde de unghiul de măsurat

Se măsoară unghiuri mici, pentru care  $\sin \alpha \approx \alpha$ , deci deplasări cuprinse între 0 și 10°. Faza tensiunii de ieșire poate fi 0 sau  $\pi$  în raport de sensul de rotație

### Traductoare numerice

Furnizează informația direct în formă numerică, nu necesită prelucrare sau codare. Poate fi privit ca un convertor analog-numeric. În funcție de modul de realizare pot fi absolute, dacă prin citirea informației se stabilește direct poziția punctului față de un punct de referință, sau incrementale, dacă în urma rotirii măsurandului se obține o succesiune de impulsuri ai căror număr este proporțional cu variația măsurandului, valoarea exactă se

obține prin înmulțirea numărului de impulsuri cu o cantă (cantă de deplasare) bine definită inițial.

Elementul sensibil este un disc codat și informația furnizată este specific codului respectiv utilizat. Discul este împărțit pe piste concentrice, iar acestea în cuante elementare, mărimea acestora determină rezoluția traductorului. Cu ajutorul unui cod binar se exprimă valorile cuantelor și se înscriu pe disc. Dintre codurile folosite cel mai des amintim codul binar natural, care are dezavantajul că există situații în care se schimbă mai mulți biți deodată, acesta poate introduce erori de citire, respectiv poate să furnizeze impulsuri false. Codul Gray este mai adecvat, în cazul acesta se modifică deodată numai un singur bit. Se mai utilizează codul binar codificat zecimal BCZ sau alte coduri.

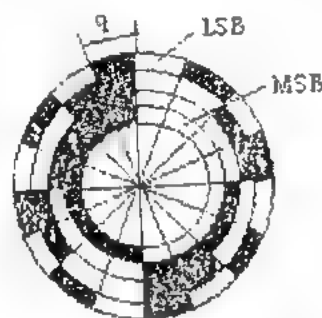


fig. 3.29.

Cuanta elementară este determinată de numărul de piste folosite. În cazul unui disc cu zece piste cuanta elementară este  $q = \frac{1}{2^{10}} = \frac{1}{1024}$ . Cărui deplasare elementară îi corespunde această cantă este determinat de mărimea discului, iar acesta se dimensionează în funcție de locul disponibil unde se montează, respectiv în funcție de precizia cu care se dorește măsurarea.

După modul de inscripționare și citire a informațiilor traductoarele numerice pot fi:

- disc cu contact
- discuri optice
- discuri magnetice.

În cazul discurilor cu contact codificarea se face prin realizarea unor zone conductoare respectiv izolatoare. Aceste discuri se realizează prin tehnologia circuitelor imprimate. Suprafețele conductoare sunt legate la un inel colector (pistă de energizare). Pistele concentrice sunt măturate de periile colectoare așezate la distanțe diferite față de centrul cercului. Zonele conductoare reprezintă unu logic, iar zonele neconductoare reprezintă zero logic. Pistele sunt astfel făcute ca să se sesizeze trecerea de la nivelul "0" → "1" sau de la "1" → "0". Pentru reducerea uzurii piste sunt aurite sau argintate.

Discurile optice se realizează pe principii optice. Discul se execută din sticlă specială pe care se prevăd zone transparente și opace corespunzător codului folosit. Citirea acestor discuri se face prin conversie fotoelectrică. Pe o parte a discului se plasează sursa (sursele) de lumină, iar pe partea opusă dispozitivele de citire, senzori fotoelectrice: fotodiode, fototranzistoare, celule fotovoltaice. Ca surse de lumină se folosesc lămpi incandescente împreună cu lentile, pentru a focaliza lumina pe pistele respective, sau diode luminescente de GaAs, în dreptul fiecărei piste câte una. Performanțele depind de calitatea pistelor și de codul folosit.

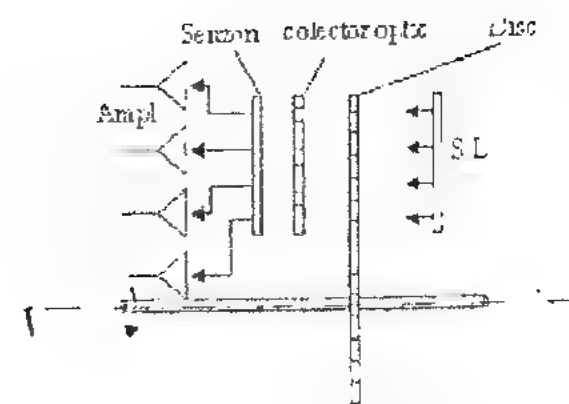


fig. 3.30.

Eroarea specifică acestor sisteme de citire optică este eroarea de histereză (fig. 3.31), provocată de diferența de nivel a tensiunii corespunzător zonelor transparente și opace. Eroarea de histereză poate fi corectat cu circuite aferente.

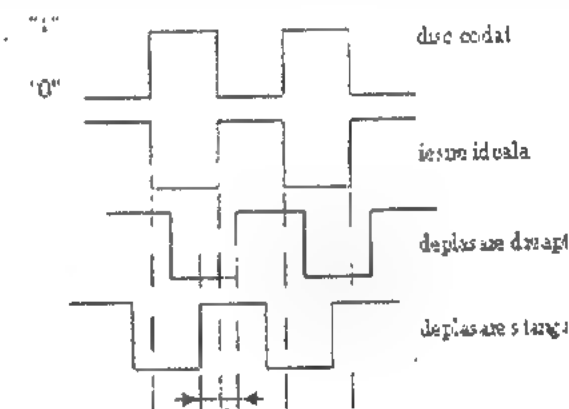


fig. 3.31

Prin cuplarea mai multor discuri se poate folosi pentru măsurarea indirectă a deplasării liniare mari (2-10m) cu o precizie mare (10μm).

Discurile magnetice sunt realizate pe aceeași principiu, doar că zonele corespunzătoare diferitelor nivele vor fi zone magnetice respectiv nemagnetice. Pentru realizarea acestora suprafața discului se acoperă cu un strat magnetizabil ( $\text{CrO}_2$ ). Zonele magnetizate corespund nivelului "0", iar zonele nemagnetice corespund nivelului "1". Dispozitivul de citire este alcătuit dintr-un miez magnetic toroidal pe care sunt dispuse două bobine. Una din bobine este bobina de alimentare, alimentată cu o tensiune sinusoidală cu amplitudine constantă și frecvență de 200kHz, cealaltă bobină se folosește pentru sesizarea câmpului magnetic. În dreptul fiecărei piste se așază câte un dispozitiv de citire

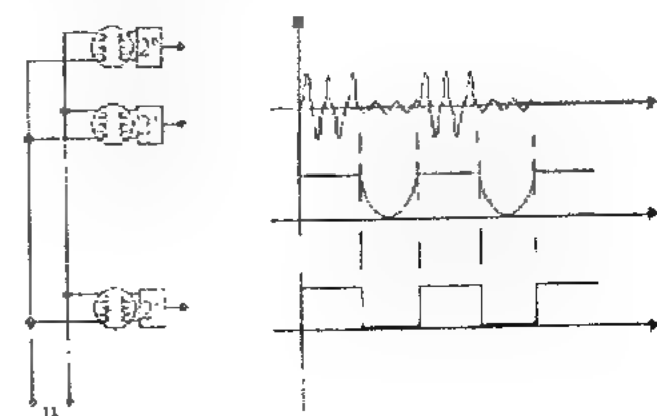


fig. 3.32

Când dispozitivul de citire întâlnește o zonă magnetizată de pe disc, miezul trece în regiunea saturată de lucru, tensiunea de ieșire a bobinei sesizoare este de nivel scăzut. Când dispozitivul de citire întâlnește o zonă nemagnetizată de pe disc, miezul toroidal funcționează în zona liniară, regiunea nesaturată, tensiunea de ieșire a bobinei sesizoare este de nivel mare. Semnalul care se obține la ieșire este un semnal modulat în amplitudine. Acest semnal se demodulează, apoi se formează într-un semnal dreptunghiular cu ajutorul unui trigger Schmitt.

Construcția acestor traductoare este mai complicată, dar are o fiabilitate mai mare și o precizie mai mare. Dezavantaj că este influențat de câmpuri externe, șocuri, vibrații, deaceia are un domeniu redus de utilizare.

Traductoarele numerice incrementale au o singură pistă împărțită în zone active și inactive de o anumită lățime. Ele furnizează un impuls sau un număr fix de impulsuri pentru fiecare cuantă a discului. Lățimea cuantei determină precizia cu care se va măsura deplasarea unghiulară. După modul de realizare și citire pot fi discuri magnetice sau discuri optice. În cazul discurilor optice zonele active și inactive se disting prin:

- transparentă – procedeul de citire este cel diascopic
- putere de reflexie – procedeul de citire este cel episcopic.

Circuitul de prelucrare a informației conține un numărător care furnizează la ieșire un număr proporțional de numărul de incremente generate de traductor (disc) când acesta se rotește. Schema bloc acestor traductoare se prezintă pe figura 3.33.

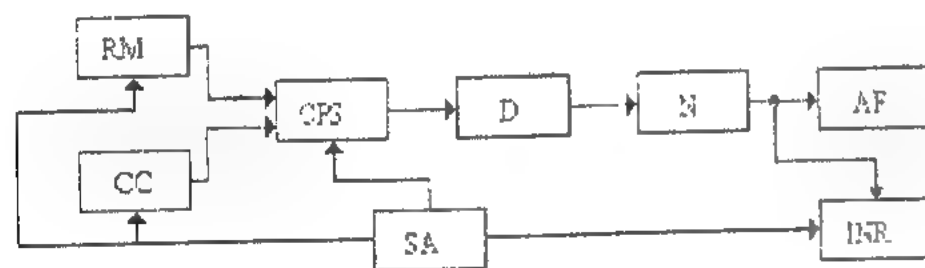


fig.3.33.

În care RM – riglă de măsurare (disc incremental)

CC – cap de citire

CPS – circuit de prelucrare a semnalelor

D – decodificator

N – numărător

AF – afșaj numeric

INR – înregistrator

SA – sursă de alimentare

Caracteristicile traductoarelor numerice care stau la baza alegerii lor:

- domeniul de măsurare
- numărul de cuante (număr de pași)
- viteza maximă de rotație sau de deplasare
- rezoluția

### 3. Traductoare pentru deplasări liniare mari

Când vorbim despre deplasări liniare mari ordinul de mărime a deplasării este metrul sau zeci de metri. Astfel de traductoare se găsesc în domeniul industrial, mai ales în construcție, metalurgie, transport, materiale de construcții.

Măsurarea acestor deplasări mari se poate face direct prin folosirea unor elemente sensibile liniare adecvate, codate absolut sau incremental, sau printr-o metodă indirectă, folosind elemente sensibile unghiulare ciclice. În acest caz sunt necesare sisteme de conversie a deplasării liniare în deplasare unghiulară, cum este de exemplu ansamblul șurub-piuliță. Este foarte important evitarea histerezei și a jocurilor mecanice, care reduc precizia măsurărilor.

Elemente sensibile directe sunt de tipul riglei: inductosinul și rigla optică, respectiv element sensibil bazat pe laser.

#### Inductosinul liniar

Ca construcție seamănă cu un selsin multipolar desfășurat în plan.

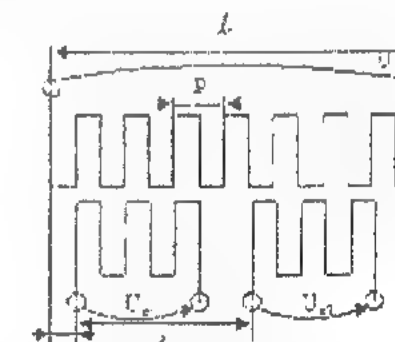


fig 3.34

Este alcătuit dintr-o riglă (statorul) al cărei lungime trebuie să acopere lungimea maximă de măsurat. Pe riglă este realizat o înfășurare cu pasul  $p=2\tau$  prin tehnologia circuitelor imprimate. Deasupra statorului se deplasează rotorul sau cursorul care este solidar cu piesa în mișcare. Pe cursor sunt realizate două înfășurări cu același pas și prin aceeași tehnologie, cele două înfășurări sunt decalate una față de cealaltă cu  $90^\circ$  electrice.

$d = n \cdot 2\tau \pm \frac{\tau}{2}$  unde  $n$  este un număr întreg. Distanța la care se află rigla și cursorul

(interstițiul) este cuprins între 0,05 și 0,25mm.

Acest tip de traductor poate fi folosit ca traductor absolut în interiorul unui semipas (2mm) și ca traductor ciclic absolut, când se numără semipașii.

Există mai multe variante de alimentare a traductorului:

- Se alimentează rigla și se culeg două semnale de pe înfășurările cursorului care se prelucrează. Această variantă nu prea se folosește din cauza prelucrării greoaie a semnalelor obținute.
- Se alimentează cele două înfășurări ale cursorului și se culege, se prelucrează un singur semnal de ieșire obținut de pe riglă. Această variantă este mai răspândită și se utilizează în două variante: cu modulație în fază și cu modulație în amplitudine.

Pentru modulație în fază cele două înfășurări de pe cursor se alimentează cu tensiunile:

$$E_{c1} = U \sin \omega t$$

$$E_{c2} = U \cos \omega t \quad (3.27)$$

pe riglă se culege semnalul:

$$U_R = KU \sin \omega t \cdot \cos\left(\frac{\pi x}{\tau}\right) - KU \cos \omega t \cdot \sin\left(\frac{\pi x}{\tau}\right) = KU \sin\left(\omega t - \frac{\pi x}{\tau}\right) \quad (3.28.)$$

unde K este raportul de transformare dintre riglă și cursor  
x este deplasarea în interiorul unui semipas  
expresia tensiunii culese de pe riglă se observă că faza tensiunii depinde de deplasare.

Pentru modulație în amplitudine cele două înfășurări ale cursorului se alimentează cu tensiunile

$$E_{c1} = U \sin \omega t \cdot \cos\left(\frac{\pi x_0}{\tau}\right)$$

$$E_{c2} = U \sin \omega t \cdot \sin\left(\frac{\pi x_0}{\tau}\right) \quad (3.29.)$$

înd poziția inițială față de care se măsoară deplasarea.  
Tensiunea care se culege de pe riglă are expresia.

$$= KE_{c1} \cdot \sin\left(\frac{\pi x}{\tau}\right) \pm KE_{c2} \cdot \cos\left(\frac{\pi x}{\tau}\right) = KU \sin \omega t \left( \cos \frac{\pi x_0}{\tau} \cdot \sin \frac{\pi x}{\tau} \pm \sin \frac{\pi x_0}{\tau} \cos \frac{\pi x}{\tau} \right)$$

$$U_R = KU \sin \omega t \cdot \sin \frac{\pi}{\tau} (x \pm x_0) \quad (3.30.)$$

se poate observa că amplitudinea tensiunii culese de pe riglă depinde de deplasare.

Tensiunea de alimentare are o frecvență cuprinsă între 2 și 10 kHz.

Inductosinul are o rezoluție bună de ordinul micrometrilor.

Lungimile mari se măsoară prin înserierea a mai multor rigle. Lungimea riglelor standardizată pe plan internațional, se fac cu lungimile 250mm, 500mm sau 1m. Este foarte important menținerea interstițiului constant pe toată lungimea de măsurare.

Erorile de măsurare se datoresc variației de temperatură, deoarece rigla și suportul se dilată inegal. Influențe perturbatorii mai sunt câmpurile exterioare praful, umezeala. Pentru evitarea perturbațiilor se ecranează cu o folie de metal legat la masă.

Sistemul și procedeul de măsurare:

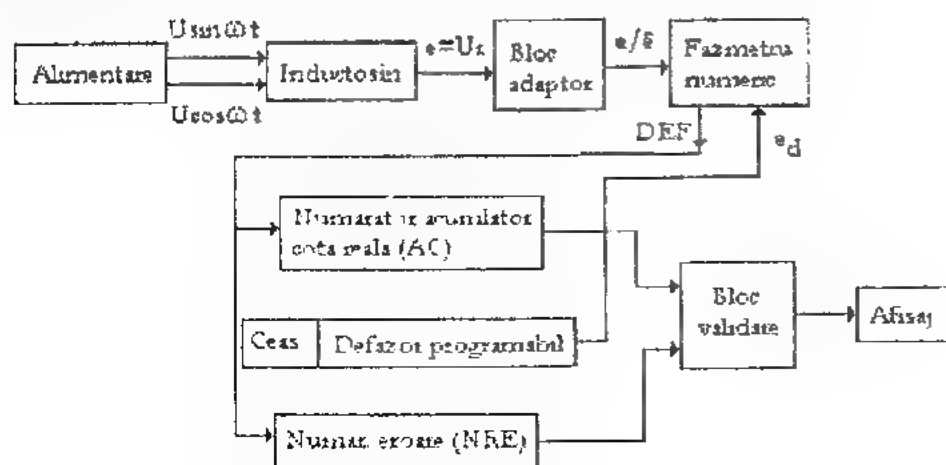


fig. 3.35

Procedeul de măsurare constă în prelucrarea numerică a fazei semnalului e față de faza unui semnal de referință  $e_d$ , care reprezintă ultima poziție a dispozitivului mobil. Măsurarea se face în următorii pași:

- Se testează dacă defazajul dintre e și  $e_d$  este  $< 180^\circ$ ,  $e_d$  fiind ultima poziție a dispozitivului mobil, față de care s-a făcut o deplasare. Dacă da se va cupla la fazmetru mărimea e (tensiunea obținută din inductosin-riglă). Dacă nu se cuplează la fazmetru inversul măririi adică  $\bar{e}$ . Acesta se face pentru a asigura măsurarea distanței pe o semiperioadă ( $0-180^\circ$ )
- Se compară e (sau  $\bar{e}$ ) cu  $e_d$ . Dacă dispozitivul mobil s-a deplasat apare un defazaj între e și  $e_d$  și corespunzător acestuia fazmetrul furnizează un tren de impulsuri (DEF), care reprezintă cota reală. Acest semnal intră într-un numărător acumulator (AC).
- În funcție de semnul diferenței de fază testată în punctul precedent, în defazorul DP se trece conținutul lui AC la semn plus, sau complementul față de 2000 la semn minus.
- Defazorul programabil DP prepară în funcție de conținutul lui AC semnalul  $e_d$  pentru următoarea măsurare.

### Rigle optice

Principiul de funcționare a acestor rigle optice este aceeași ca a discurilor optice, doar că în locul discului avem o riglă. Riglele pot fi codate absolut, când se fac pentru o lungime de 1m și au o precizie de 1μm. Acestea au un cost ridicat și apar probleme la asigurarea liniarității pe toată lungimea de măsurare. Sunt influențate de praf, umiditate, impurități, din această cauză se fac sub formă încapsulată.

Riglele pot fi și incrementale cu prelucrare asemănătoare ca în cazul discurilor incrementale.

Zonele active și inactive diferă prin puterea de reflexie. Dispozitivul care asigură sursa de lumină are înglobat și sistemul de recepție a undelor reflectate și asigură și prelucrarea semnalului. Se folosesc pentru măsurarea lungimilor până la 3m.

### Traductoare cu laser

Dintre tehnicile de măsurare ce utilizează laserul, cea mai utilizată pentru traductoare de deplasare este interferometria. Datorită complexității ele sunt denumite sisteme de măsurare, dar funcțiile pe care îndeplinesc sunt aceeași ca a traductoarelor

Principiul de măsurare pe care se bazează este compararea distanței de măsurat cu lungimea de undă emisă de o sursă de referință și exprimarea acestei distanțe printr-un număr proporțional cu numărul de franje de interferență sesizate într-un punct fix.

Pentru explicarea fenomenului se consideră două surse  $S_1$ ,  $S_2$  de oscilații armonice cu aceeași caracteristici care se situează într-un mediu omogen și izotrop.

$$y_1 = y_2 = A \sin 2\pi \frac{l}{\lambda} \quad (3.31.)$$

Să fie P un punct situat în același mediu situat la distanțele  $d_1$  și  $d_2$  de la surse fig. 3.36

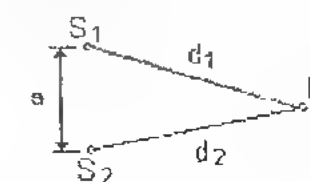


fig. 3.36.

Distanța dintre surse a este mult mai mic decât distanțele  $d_1$  și  $d_2$ . În această situație oscilația punctului P este dată de relația:



$$y_p = y_{1p} + y_{2p} \quad (3.32.)$$

$$= A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{d_1}{\lambda} \right) + A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{d_2}{\lambda} \right) = 2A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{d_1 + d_2}{\lambda} \right) \cos \pi \frac{d_1 - d_2}{\lambda}$$

Amplitudinea oscilației în punctul P va fi determinat de:

$$A_p = 2A \cos \pi \frac{d_1 - d_2}{\lambda} \quad (3.33.)$$

Amplitudinea va fi maximă dacă:

$$\pi \frac{d_1 - d_2}{\lambda} = k\pi \quad \text{deci} \quad d_1 - d_2 = k\lambda \quad (3.34.)$$

Amplitudinea este minimă dacă:

$$\pi \frac{d_1 - d_2}{\lambda} = (2k + 1) \frac{\pi}{2} \quad \text{deci} \quad d_1 - d_2 = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (3.35.)$$

unde k este număr întreg.

Cele două unde interferă și se obțin unde staționare, cu amplitudini diferite, care depind de poziția punctului P, prin diferența  $d_1 - d_2$ . Astfel se poate spune că amplitudinea și rezultanta este o măsură a diferenței de drum și implicit și a distanței dintre surse. Măsură de măsură care exprimă această dependență este lungimea de undă. Determinarea poziției punctului P a două maxime de amplitudine succesive înseamnă creșterea (sau scăderea) unei dintre surse.

Dacă considerăm că cele două surse  $S_1, S_2$  sunt situate pe o dreaptă perpendiculară pe planul  $\alpha$ , în care este situat punctul P, locul geometric al punctelor care oscilează cu amplitudine maximă este o familie de cercuri concentrice. În mod asemănător locul geometric al punctelor care oscilează cu amplitudine minimă este tot o familie de cercuri concentrice. Cele două familii de cercuri sunt intercalate între ele. Dacă sursele  $S_1, S_2$  sunt sursă de lumină vom avea cercuri luminoase, corespunzătoare diferenței de drum  $d_1 - d_2 = k\lambda$ , și cercuri întunecate corespunzătoare pentru diferența de drum  $d_1 - d_2 = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$ . Imaginea se va modifica dacă se variază distanța dintre surse.

În același punct P se succed zone de iluminare maximă, respectiv minimă.

Zonele de maxim și de minim vor purta denumirea de franje de interferență de maxim și de minim.

Dacă în punctul P se pune un fotoelement, care să sesizeze trecerea succesivă prin zone de iluminare maximă și minimă, se poate măsura variația distanței dintre surse cu  $k\lambda$ .

Aparatul cel mai utilizat în interferometrie, care funcționează pe acest principiu este interferometrul MICHELSON.

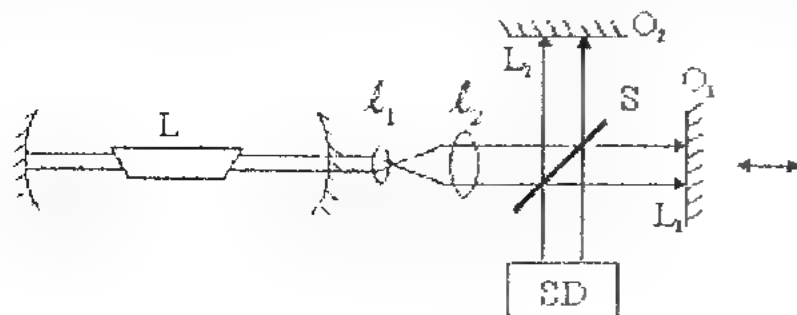


fig. 3.37.

Aparatul se compune dintr-o sursă de laser neon-heliu, sistem de lentile  $L_1$  și  $L_2$ , oglindă semitransparentă S, oglinzile reflectoare  $O_1$  și  $O_2$  și sistemul de detecție al franjelor de interferență SD.

Fasciculul luminos provenit din laser trece prin sistemul de lentile, pentru a reduce divergența undei, și este divizat de oglindă semitransparentă S în două fascicule. Cele două fascicule divizate sunt reflectate de oglinzile  $O_1$  și  $O_2$  și prin suprapunerea lor apare fenomenul de interferență, materializat printr-un sistem de franje.

Rezultatul interferenței într-un anumit punct al fasciculului emergent este determinat de defazajul introdus datorită parcurgerii distanțelor de lungimi diferite  $L_1$  și  $L_2$  ale interferometrului. Pornind de la expresia amplitudinii oscilației dintr-un punct, și de la faptul că intensitățile luminoase egale se succed la intervale de  $2\pi$  (echivalente cu deplasări de lungime  $\lambda$ ) se poate scrie defazajul

$$\Delta\Phi = \frac{2\pi d}{\lambda} = \frac{4\pi}{\lambda} (L_1 - L_2) \quad (3.36.)$$

unde  $d = 2(L_1 - L_2)$  este diferența de drum parcursă de cele două fascicule.

Considerând inițial  $L_1 = L_2$  pentru care  $\Delta\Phi = 0$ , o anumită lungime orientată de-a lungul unuia dintre brațele interferometrului va fi măsurată prin deplasarea corespunzătoare a oglinzii respective. În acest caz defazajul care apare este o măsură directă a raportului dintre  $L - L_1 - L_2$  și lungimea de undă a radiației de referință.

Sistemul de franje este sesizat cu două fotomultiplicatoare așezate astfel încât să primească lumină simultan de la o zonă de lumină maximă, respectiv minimă (acesta va corespunde unui defazaj de  $\pi/2$ ).

Această diferență este independentă de valoarea lui  $\Phi$ , și permite determinarea sensului de deplasare a oglinzii mobile.

Un circuit logic cuplat cu un numărător reversibil primește semnalele de la cele două fotomultiplicatoare, adăugând (sau scăzând) câte o unitate pentru o deplasare cu  $\lambda/2$ . Rezultă deci o precizie de măsurare egală cu  $\lambda/2$ . La creșterea preciziei trebuie avut în vedere creșterea raportului semnal-zgomot la detector.

Față de celelalte traductoare de deplasare prezintă avantajele:

- eroarea riglei interferometrice mai mică ca  $0,1 \mu\text{m/m}$
- neliniaritatea indicațiilor  $< 0,5 \mu\text{m/m}$
- sensibilitatea  $0,1 \mu\text{m/m}$
- reproductibilitate mare a unității de măsură în limitele  $10^{-8} - 10^{-10}$
- efectuarea măsurătorilor fără contact și în locuri greu accesibile
- robustețe mare, fiabilitate ridicată
- ușurință în montare folosire.

Alte variante constructive sunt LASINTERF M20 respectiv TWYMAN-GREEN.

#### 4. Traductoare de proximitate

Proximitatea înseamnă gradul de apropiere dintre două obiecte, dintre care unul este obiectul de referință. Prin acesta se poate controla poziția unui obiect fără contact, interstițiul dintre suprafețe, prezența unui obiect metallic în câmpul de lucru.

Caracteristica lor este de tip reletu, având două valori extreme, nivelul "0" respectiv nivelul "1" între care trecerea se face brusc.

Specificul acestor traductoare este histeriza ( $\delta$ ), adică trecerea de la un nivel la altul a mărimii de ieșire depinde de sensul (direcția) de variație a mărimii de intrare.

Forma constructivă este compactă, conținând și circuite de prelucrare.

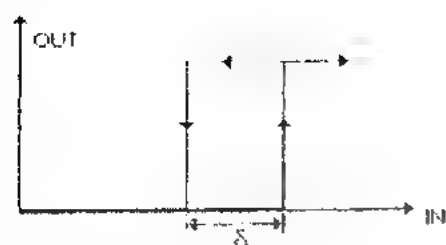


fig. 3.38.

### Traductor de proximitate inductiv

Schema bloc a unui astfel de traductor

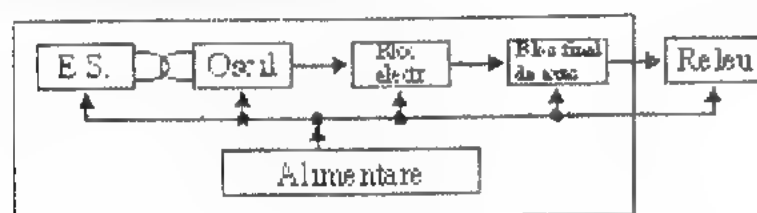


fig. 3.39.

Elementul sensibil ES este o bobină care este parte integrală a oscilatorului OSC. În rul bobinei se întreține un câmp magnetic alternativ. La apariția unui obiect metalic se duc în acesta curenți turbionari, care se reflectă asupra câmpului magnetic al bobinei, reând fluxuri de sens opus. Astfel se modifică frecvența de oscilație. Blocul electronic sizează această variație și comută starea elementului de ieșire care este un tranzistor cu olector în gol.

Durata impulsului de ieșire (durata stării de ieșire) depinde de viteza de deplasare a obiectului și de tensiunea de alimentare a traductorului (dacă este tensiunea nominală de alimentare sau mai mic).

Cu acest tip de traductor se pot sesiza prezența obiectelor metalice, de exemplu area închisă a unui ecran protector. Dar se poate folosi și ca traductor de viteză.

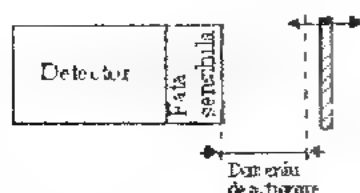
### Traductor de proximitate magnetică

Funcționarea se bazează pe ecranarea liniilor unui câmp magnetic creat de un magnet permanent. Sunt alcătuite dintr-un magnet permanent și un releu REED. Acest releu se află într-o stare când acționează asupra lui câmpul magnetic și în starea cealaltă când acțiunea câmpului se încetează. Obiectul al cărei prezență se testează ecranază liniile împului magnetic, comutând astfel starea traductorului.

Pot fi fără memorie sau cu memorie, reține starea și după îndepărtarea obiectului are a ecranat liniile câmpului magnetic. Resetarea se face manual.

### Traductor de proximitate capacitiv

Structura acestor traductoare este asemănător cu cea a traductoarelor de proximitate inductivă, cu deosebirea că elementul sensibil este un condensator. Și acesta face parte într-un circuit oscilant.



Cu acest tip de traductor se poate sesiza prezența unui obiect metalic, caz în care obiectul și fața sensibilă a traductorului formează un condensator al cărei capacitate variază cu distanța dintre armături. Capacitatea crește cu micșorarea distanței  $C = \epsilon S/d$ .

Poate sesiza prezența obiectelor dielectrice (obiecte nemetalice) care au permitivitatea mai mare ca unu ( $\epsilon > 1$ ), se formează un condensator la care se modifică permitivitatea.

### Traductoare de proximitate fotoelectrice

Prezența sau absența obiectului metalic sau nemetalic al cărei prezență se controlează modifică fluxul luminos al unei surse

Există două variante constructive:

- tip barieră: în acest caz obiectul se află între sursă și receptor (a)
- tip reflector: sursa și receptorul se află pe aceeași parte a obiectului, acesta împiedică sau nu reflexia fascicolului de lumină de pe un panou reflector (b)

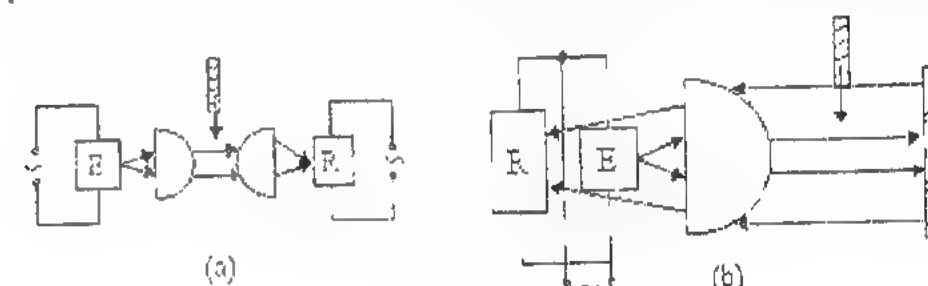


fig. 3.41.

### Traductoare integrate de proximitate

Aceste tipuri de traductoare prezintă următoarele avantaje

- gabarit redus
- performanțe ridicate
- insensibilitate la șocuri, vibrații, variații de temperatură și la câmpuri externe
- tensiune de alimentare redusă
- compatibil cu circuite electronice.

*Traductorul inductiv de tip TCA 105 N* este un traductor de proximitate realizat sub forma unui circuit integrat cu opt terminale. Prin conectarea în exterior la pinii 2, 3, 4 a unui condensator și a unei bobine se realizează un oscilator cu o frecvență cuprinsă între 1 și 5 MHz. Are două ieșiri complementare, ambele fiind tranzistoare cu colector în gol. La ieșiri se conectează câte o rezistență de sarcină  $R_s$  care se pune la masă prin tranzistor în prezența obiectului metalic.

Structura internă a acestui traductor:

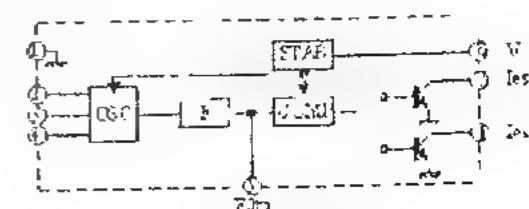


fig. 3.42

Există două variante constructive în funcție de modul de conectare a bobinei și a tensiunii

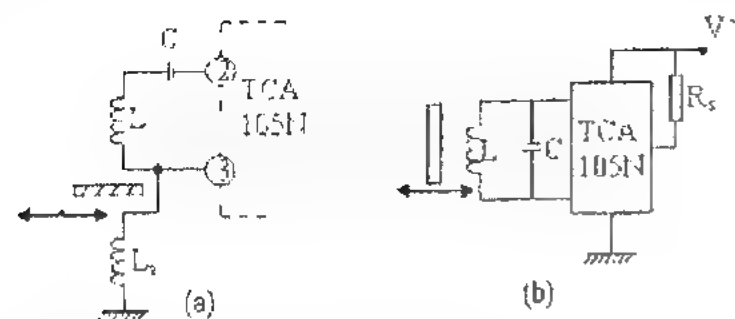


fig. 3.43.

Tensiunea de alimentare este redus, ieșirile sunt complementare și compatibil TTL.

Traductor magnetic de tip BSM 23X-BSM 24X este un traductor de proximitate al și funcționare se bazează pe efectul Hall. Poate sesiza prezența unui câmp magnetic de nsitate  $B=50\text{mT}$ . Scoate la ieșire un semnal electric cu valoare cuprinsă între 1 și 1V. Pentru funcționarea lui este nevoie de prezența câmpului magnetic (prezența unui magnet permanent)

Comutarea dintr-o stare în alta se obține prin:

- deplasarea unui magnet – se poate folosi ca traductor de prezență sau de rotație
- ecranarea câmpului magnetic
- concentrarea câmpului magnetic.

Structura internă a traductorului.

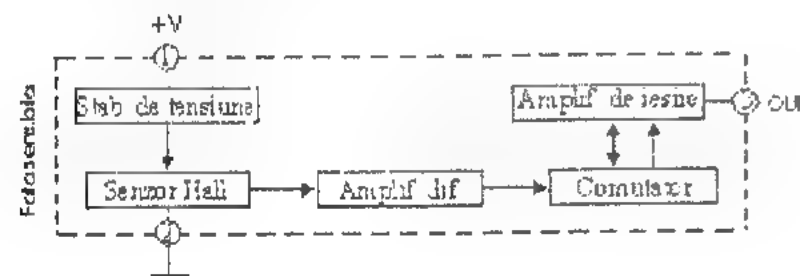


fig. 3.44

Se prezintă sub forma unui tranzistor de tip BD, cu o față sensibilă. Tensiune de nentare este redus. Are multiple modalități de utilizare, ca traductor de orizontalitate, de el, traductor de viteză unghiulară sau traductor de intensitate de câmp magnetic.

## 5. Traductoare pentru măsurarea grosimilor

Pentru măsurarea grosimilor nu există traductoare speciale, se folosesc acele luctoare care se folosesc și pentru alte mărimi geometrice inductive, capacitive. Pe uă acestea se folosesc diferite fenomene legate de propagarea ultrasunetului și a rației nucleare

În funcție de obiectul de măsurat procedeele de măsurare a grosimilor se clasifică louă mari categorii: a) măsurarea grosimii unei plăci metalice sau nemetalice

b) măsurarea unui strat de acoperire

## a) Măsurarea grosimilor plăcilor

### 1. Metoda curenților turbionari

Principiul de măsurare se bazează pe interacțiunea fluxului magnetic al unei bobine cu curenții turbionari induși de acesta în placa metalică al cărei grosime se măsoară

Un alt procedeu este folosirea interacțiunii dintre un câmp magnetic variabil cu unul continuu, intensitatea căruia depinde de grosimea plăcii care se măsoară

Sistemul de măsurare este realizat sub forma unui transformator având două sau patru bobine cu rol de primar și secundar

### Procedeu Föster

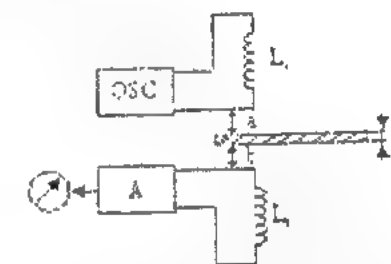


fig. 3.45.

Oscilatorul OSC întreține în bobina  $L_1$  un câmp magnetic variabil, acesta generează prin inducție electromagnetică tensiune în bobina  $L_2$ , prin urmare apare în această bobină un curent  $I_2$  care se amplifică și se aplică instrumentului IN. Dacă între bobinele  $L_1$  și  $L_2$  se introduce o placă metalică, câmpul magnetic variabil va induce în placa metalică curenți turbionari, care interacționează cu câmpul magnetic variabil și modifică intensitatea lui. Astfel se va modifica și tensiunea indusă în bobina  $L_2$  în consecință și curentul  $I_2$ . Această tensiune respectiv curent depinde de grosimea plăcii

Grosimea limită care se măsoară se deduce din relația următoare:

$$g = \frac{k}{\sigma \mu_r (a+b)f} \quad (3.37)$$

unde  $k$  este constanta traductorului  
 $\sigma$  conductivitatea materialului  
 $\mu_r$  permeabilitatea relativă a materialului metalic  
 $f$  frecvența de lucru al oscilatorului

Sensibilitatea traductorului depinde de curentul  $I$  care circulă prin bobina  $L_1$  și de inductivitatea mutuală.

$$S = \frac{d\Phi_{21}}{dg} = \omega I \frac{dM}{dg} = 2\pi f I \frac{dM}{dg} \quad (3.38.)$$

### Procedeu Yates-Spring

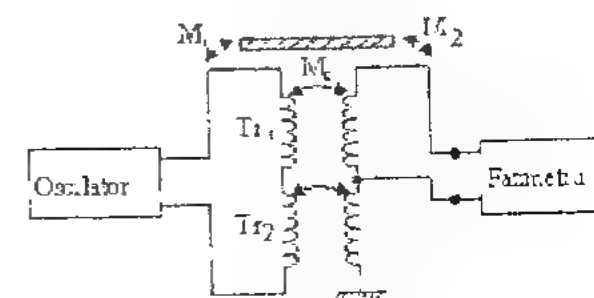


fig. 3.46

În cazul procedurii precedent determinarea distanțelor  $a$  și respectiv  $b$  este foarte greu. Prin folosirea acestui procedeu se elimină distanțele  $a$  și  $b$ . Principiul de măsurare este și în acest caz modificarea inductivității mutuale în prezența unei plăci metalice.

Traductorul constă din două transformatoare dintre care una este transformator etalon, inductivitatea mutuală a acestuia nu se modifică. La apropierea unei plăci metalice la transformatorul de măsurare se modifică inductivitatea mutuală a acestuia, de la valoarea  $M_c$  la valoarea  $M_c + M_1 + M_2$  datorită căreia apare un defazaj între tensiunea dintre bobinele secundare ale transformatorului de măsură și cel etalon.

Defazajul este proporțional cu grosimea plăcii și se măsoară cu fazmetru care este etalonat direct în grosime.

$$g \approx \varphi = \arctg \frac{R_s}{\omega L_s} \quad (3.39.)$$

### 1. Metoda cu microunde

Metoda se bazează pe reflexia microundelor de pe o suprafață.

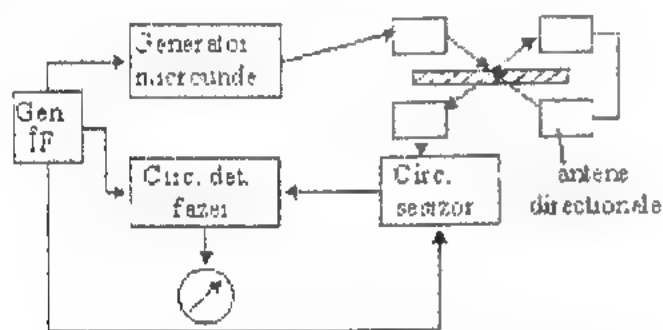


fig 3.47.

Instalația cuprinde un generator de înaltă frecvență GIF, generator de microunde, antene direcționale cu ajutorul cărora se dirijează microundele spre suprafața plăcii de unde se reflectă. Apoi această microundă este dirijată pe cealaltă suprafață de unde se reflectă iarăși, microunda suferind un nou defazaj.

Datorită reflexiilor microunda recepționată de circuitele sesizoare, va fi defazat față de fasciculul reflectat inițial, defazajul este proporțional cu grosimea plăcii.

Prin alegerea corespunzătoare a lungimii de undă ( $\lambda$ ) se poate atinge o precizie de 0,5 - 1%, la măsurarea grosimilor cuprinse între 6 și 10 mm.

### 3. Metoda cu ultrasunete

Principiul de măsurare se bazează pe măsurarea timpului de propagare a ultrasunetului în placă, timp al cărei durată depinde de grosimea plăcii.

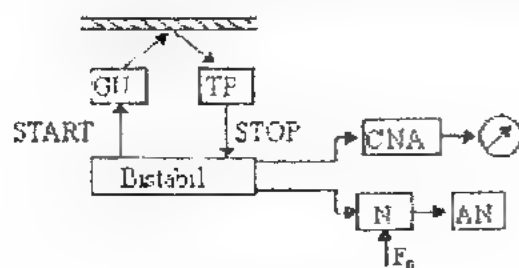


fig 3.48

Traductorul este alcătuit dintr-un generator de ultrasunete GU care furnizează un impuls bistabilului în momentul în care emite ultrasunetul (START). Circuitul de recepție a ultrasunetului reflectat dă impulsul de STOP. Durata impulsului furnizat de bistabil este egală cu timpul de propagare a ultrasunetului în placă. Acest semnal se prelucrează cu un convertor numeric-analogic pentru a fi utilizat sub formă analogică în continuare sau se

prelucrează digital, cu un numărător se numără impulsurile unui generator de tact GT (T) pe durata impulsului bistabilului. Afișajul se face numeric.

### 4. Metoda cu radiații nucleare

Metoda se bazează pe capacitatea de absorbție a undelor radioactive. Capacitatea de absorbție depinde de grosimea materialului și de tipul materialului. Pentru același tip de material capacitatea de absorbție depinde numai de grosime.

De obicei se folosesc două plăci, una fiind de grosime cunoscută, cealaltă de grosime  $x$ , din același material. În urma măsurării se compară absorbția celor două plăci.

#### b) Măsurarea straturilor de acoperire

În cazul măsurării straturilor de acoperire procedeele diferă pentru straturi metalice și straturi izolatoare. Pentru măsurarea straturilor metalice se folosește metoda curenților turbionari, pentru măsurarea straturilor nemetalice se folosește o metodă prin efect Hall.

#### 1. Metoda prin curenți turbionari

Se folosește de faptul că se modifică caracteristica unei bobine, factorul de calitate.

$Q = \frac{1}{\lg \delta}$  în prezența unui strat metalic Bobina este parte integrală al unui oscilator care

lucrează la frecvențe mari, la rezonanță. Frecvența la care apare rezonanța depinde de factorul de calitate  $Q$  al bobinei care este influențat de stratul care se apropie.

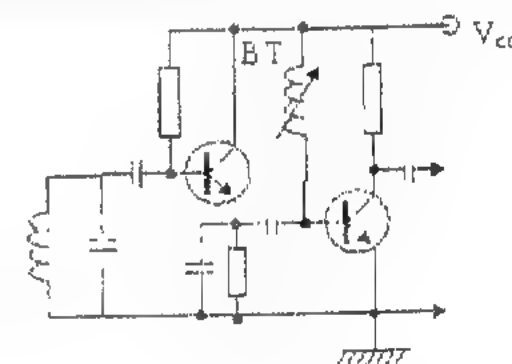


fig 3.49.

Circuitul de măsurare este compus dintr-un circuit oscilant, din care face parte bobina, care se află la rezonanță. La apropierea unui strat metalic de bobina de măsură, datorită câmpului magnetic variabil din jurul lui, vor apărea curenți turbionari în stratul metalic. Influența acestor curenți turbionari se va reflecta asupra câmpului magnetic al bobinei, acesta își modifică caracteristicile și circuitul oscilant nu va mai lucra la rezonanță. Prin reglarea unui condensator sau a bobinei se readuce circuitul la rezonanță. Din valorile factorului de calitate al celor două situații se determină grosimea stratului de acoperire.

Dacă suportul pe care s-a depus stratul metalic este izolator sunt necesare două măsurători, grosimea stratului se determină din relația.

$$d = k \left( \frac{Q_0}{Q_1} - 1 \right) \quad (3.40.)$$

unde:  $Q_0$  este factorul de calitate al bobinei în absența stratului  
 $Q_1$  este factorul de calitate al bobinei în prezența stratului  
 $k$  este constanta aparatului.



Dacă suportul pe care s-a depus stratul metalic este din material conductor, se fac măsurători, relația de calcul este:

$$d = k \left( \frac{Q_0}{Q_1} - \frac{Q_0}{Q_2} \right) \quad (3.41.)$$

$Q_0$  este factorul de calitate al bobinei în absența stratului și absența suportului

$Q_2$  este factorul de calitate al bobinei în absența suportului

$Q_1$  este factorul de calitate al bobinei în absența suportului și stratului.

1 de principiu al aparatului

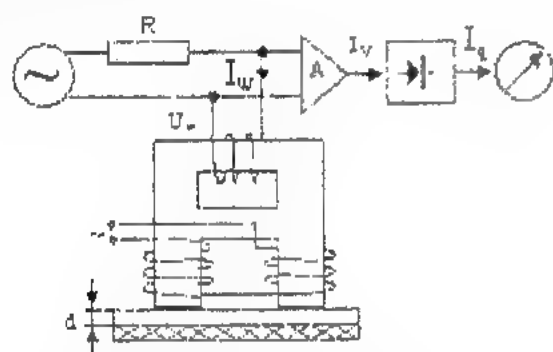


fig 3.50.

La apropierea stratului de grosime  $d$ , apare un defazaj  $\Delta\varphi$  între tensiunea  $u_w$ , dată de bobina de sesizare, și tensiunea sursei  $u$ , care duce la apariția unui curent porționar cu acest defazaj. Curentul se redresează și se aplică instrumentului or.

Prin această metodă se măsoară grosimi cuprinse între 10 și 100  $\mu\text{m}$ , cu o precizie %.

#### Metoda cu efect Hall

Măsurarea grosimilor prin această metodă se bazează pe expresia tensiunii Hall

$$U_H = R_H \frac{B \cdot I_c}{g} \quad (3.42.)$$

Această tensiune depinde de inducția magnetică  $B$  din interstițiul unui meiz gnetic, produs de o bobină cu  $N$  spire parcursă de curentul  $I$ , de curentul de  $I_c$  ce trece prin sonda Hall și de grosimea  $g$  al materialului semiconductor folosit tructia sondei.

În expresia tensiunii Hall se va modifica inducția magnetică  $B$ , datorită variației ații câmpului magnetic  $H$ , care își modifică valoarea la apropierea unui strat

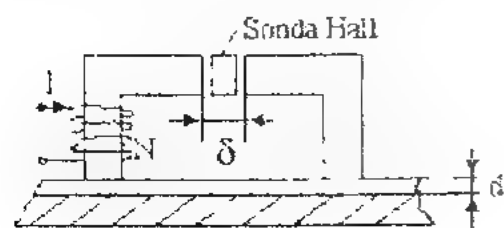


fig 3.51

Din legea circuitului magnetic se poate determina intensitatea câmpului magnetic și inducția din întrefier unde se plasează sonda:

$$H_0 = \frac{N \cdot I}{2d - \delta} \quad B_1 = \mu \cdot H_0 \quad (3.43.)$$

Tensiunea Hall care se măsoară va fi invers proporțional cu grosimea  $d$  al stratului izolator:

$$U_H = k_H I_c \mu H_0 = k_H I_c \mu \frac{N \cdot I}{\delta - 2d} = K \frac{1}{\delta + 2d} \quad (3.44.)$$

unde  $K$  este constanta aparatului.

Considerând tensiunea Hall dat de sondă în absența stratului izolator care se măsoară, respectiv tensiunea Hall obținută de la sondă în prezența stratului izolator, se pot face determinări ale grosimii stratului

Domaniul de măsurare este până la grosimi de 100  $\mu\text{m}$  cu o precizie de 2-5%.

## Capitolul 4.

### TRADUCTOARE DE NIVELE

Măsurarea nivelului se face pentru lichide, pulberi, granule. În cadrul măsurării pot apărea multe probleme, ca de exemplu vase sub presiune, spumă la suprafață, lichide corozive, lichide conductoare, transparente sau ne transparente.

Determinarea nivelului se poate face continuu, în fiecare moment se cunoaște valoarea exactă a nivelului, sau în puncte, urmărirea doar a unui maxim sau minim al nivelului.

Măsurarea se poate face direct, prin determinarea înălțimii substanței, sau indirect, măsurarea presiunii, masei sau a gradului de atenuare a radiației în substanță.

#### Traductoare rezistive de nivel

Aceste traductoare se folosesc pentru măsurarea continuă sau discontinuă a nivelului lichidelor.

Pentru măsurări continue se introduc în substanță două armături între care se măsoară rezistența materialului (în cazul materialelor izolante), fig. 4.1a. Dacă lichidul conductor se plasează în lichid o rezistență sau o serie de rezistențe pe toată înălțimea lichidului, lichidul conductor șuntează o porțiune din rezistență modificând rezistența totală, fig. 4.1b.

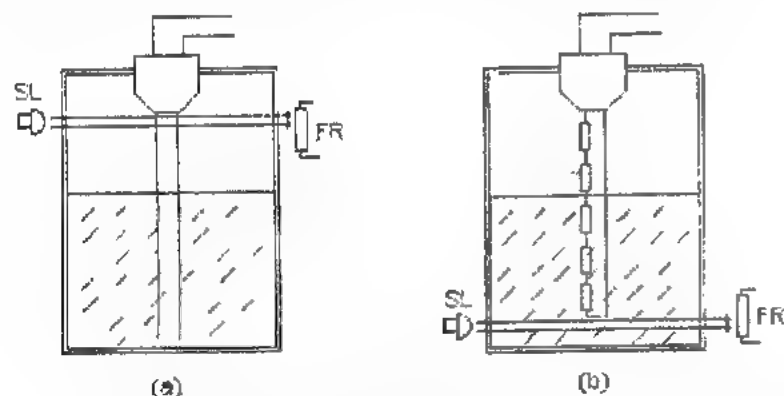


fig. 4.1.

Dezavantajul metodei este că rezistivitatea respectiv conductivitatea lichidului este influențată de temperatură, natură, compoziția lichidului precum și de impurități. Toate acestea influențează precizia măsurării. Traductoarele vin în contact direct cu substanța și pot să-l distrugă.

Pentru semnalizarea unor valori limită, minimă sau maximă, se pot folosi rezistențe plasate la locurile corespunzătoare, fig. 4.1. Aceste traductoare necesită și o sursă de lumină care se plasează în sensul opus al vasului. Astfel creșterea și scăderea nivelului lichidului influențează gradul de iluminare al senzorului (fotorezistență), care își modifică valoarea în funcție de acesta. Detectând modul de variație a fotorezistenței se pot obține informații asupra nivelului lichidului.

Traductoarele rezistive pot fi asociate cu un plutitor, brațul plutitorului acționând pe rezistențele plasate în lichid.

## 2. Traductoare inductive de nivel

Folosirea unor traductoare inductive, măsurarea nivelului se reduce la o măsurare de deplasare. În toate cazurile traductorul inductiv este asociat cu un plutitor, pe care se plasează un miez feromagnetic.

Deplasarea miezului, dat de modificarea nivelului lichidului, în interiorul unei bobine duce la modificarea inductanței acestuia. Măsurarea se poate face continuu sau discontinuu figura 4.2.

În interiorul vasului se plasează o serie de bobine care împreună cu condensatoarele externe formează un circuit oscilant. Cu creșterea nivelului, miezul se ridică, provoacă modificarea inductanței bobinei corespunzătoare și circuitul intră în rezonanță. Frecvența de alimentare și de rezonanță sunt astfel alese ca să apară o supratensiune necesară aprinderii tuburilor de neon care indică nivelul lichidului.

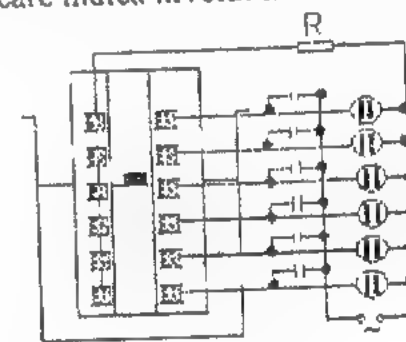


fig. 4.2.

Precizia depinde de numărul de bobine folosite și de distanța dintre ele (nr. bob./m).

O altă modalitate ar fi folosirea unei bobine în interiorul căreia se deplasează miezul magnetic fixat pe un flotator. Prin deplasarea miezului se modifică inductanța bobinei după o curbă neliniară.

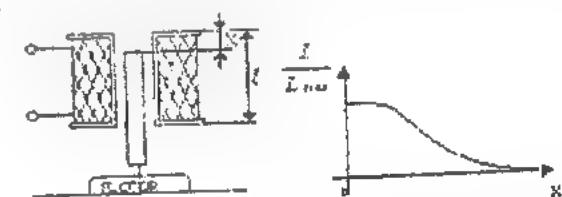


fig. 4.3.

Pentru reducerea neliniarității caracteristicii se folosește varianta diferențială, astfel se mărește și sensibilitatea traductorului.

La indicarea unui nivel maxim se folosesc traductoarele de proximitate inductive sau bazate pe efect Hall (BSM). Plutitorul se acoperă cu un strat de metal sau se fixează un magnet permanent. La apropierea stratului metalic sau a magnetului de traductorul de proximitate comandă modificarea tensiunii de ieșire. Precizia cu care se determină nivelul depinde de histereza traductorului de proximitate.

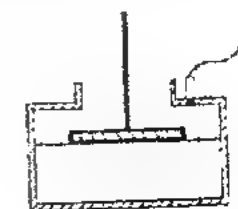


fig. 4.4.

### Traductoare capacitive de nivel

Măsurarea nivelului cu traductoare capacitive se bazează pe modificarea permitivității relative a dielectricului dintre armături. Forma condensatorului poate fi plană cilindrică. Aceste traductoare sunt mai precise, iar condițiile de lucru nu sunt atât de dure.

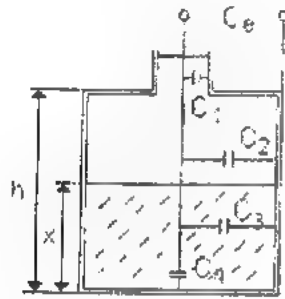


fig 4.5.

În cazul unui lichid izolator se introduce în interiorul vasului o tijă conductoare, se izolează de fundul vasului, formând astfel cu peretele lateral al vasului un condensator cilindric. Capacitatea echivalentă care se măsoară este dat de:

$$C_E = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 = C_f + C_2 + C_3 \quad (4.1.)$$

- $C_1$  este capacitatea fixă la gâtul vasului unde tijă se izolează de vas,
  - $C_4$  este capacitatea fixă între tijă și fundul vasului,
  - $C_2$  este capacitatea variabilă între tijă și vas având ca dielectric aerul ( $\epsilon_r=1$ ),
  - $C_3$  este capacitatea variabilă între tijă și vas având ca dielectric lichidul de măsurat.
- Utilizând relația de calcul al capacității cilindrice pentru  $C_2$  și  $C_3$  se obține.

$$C_2 = 2\pi \frac{\epsilon_0 (h-x)}{\ln D/d} \quad C_3 = 2\pi \frac{\epsilon_l \cdot x}{\ln D/d} \quad (4.2.)$$

•  $D$  și  $d$  sunt diametrele exterioare și interioare ale cilindrului, deci diametrul tijei și al vasului.

Capacitatea echivalentă va fi:

$$C_f + \frac{2\pi}{\ln D/d} [\epsilon_0 \cdot x + \epsilon_l (h-x)] = C_f + \frac{2\pi}{\ln D/d} [x(\epsilon_l - \epsilon_0) + \epsilon_l \cdot h] = f(x) \quad (4.3.)$$

Se recomandă ca  $C_f$  să fie mai mic ca 10pF.

Măsurarea se face în condiții identice cu cele de măsurare.

Dacă vasul este din material neconductor se introduc în vas două armături plane, măsurarea este identică, doar că se folosesc relațiile de calcul pentru capacitatea plană. Capacitatea fixă  $C_f$  dispăre din relația capacității echivalente și capacitatea echivalentă

$$C_f + C_a = \frac{\epsilon_l \cdot S_l}{d} + \frac{\epsilon_a \cdot S_a}{d} = \frac{\epsilon_l \cdot a \cdot x}{d} + \frac{\epsilon_a \cdot a(b-x)}{d} = \frac{ab}{d} + \frac{ax}{d} (\epsilon_l - 1) \quad (4.4.)$$

unde  $a$  și  $b$  sunt dimensiunile armăturilor, iar  $d$  este distanța dintre ele,  $x$  este nivelul lichidului.

Precizia de măsurare depinde de variația permitivității cu temperatura și de conținutul de impurități conductoare.

În cazul lichidelor conductoare tijă și peretele interior al vasului se acoperă cu un material izolator de exemplu teflon, sticlă sau policlorură de vinil. Modul de măsurare este același, se modifică doar schema echivalentă după care se calculează capacitatea

echivalentă. Pe schemă apar capacități corespunzătoare materialului izolator care acoperă tijă și vasul.

Dacă vasul este de dimensiuni prea mari, se folosesc recipiente auxiliare în care nivelul lichidului se modifică în același mod.

Modificarea capacității echivalente  $C_E$  astfel formate, care depinde de nivelul lichidului, se sesizează cu ajutorul unor scheme de măsură de tip punte (punte Sauty) sau circuite de rezonanță în care se modifică frecvența în funcție de nivel.

## Capitolul 5.

### TRADUCTOARE DE RADIATII

Marea majoritate a traductoarelor de radiații sunt traductoare active, energia necesară funcționării lor este luat din radiație al cărei intensitate se măsoară. Funcționarea acestor traductoare se bazează pe fenomenele care apar în diferite materiale sub acțiunea radiațiilor luminoase sau nucleare.

Structura generală a acestor traductoare.



fig 5.1.

Deoarece mărimea de studiat este de valoare foarte mică se recurge la modularca unei mărimi purtătoare de către radiație. Elementul modulator poate fi adaptat la diverși parametrii, în cazul acesta se pot măsura prin intermediul radiațiilor alte mărimi cum ar fi leplasare, viteză sau alte mărimi neelectrice

Există trei tipuri de radiații: *radiații luminoase, radiații nucleare și radiații termice*. În cazul primelor două tipuri de radiații, radiația acționează direct asupra electronilor din structura materialului și produce o modificare a conductivității a lor, sau determină apariția unui câmp electric pe suprafețele materialului. Radiațiile termice sunt radiații care sunt absorbite de material, provoacă încălzirea materialului. Aceste radiații se măsoară cu ajutorul traductoarelor de temperatură.

#### Traductoare pentru radiații luminoase

Radiațiile luminoase se transmit prin unde electromagnetice cu lungime de undă cuprins între 0,01 μm și 100 μm, care corespunde unei game de frecvență  $10^{16} \div 10^{13}$  Hz. Acest spectru se împarte în:

0,01 → 0,4 μm – radiație ultravioletă

0,4 → 0,76 μm – spectrul vizibil

0,76 → 100 μm – spectrul infraroșu.

#### Mărimi caracteristice radiației luminoase

1. *Flux luminos* –  $\Phi$  – [lumen - lm] este energia luminoasă pe care o emite o sursă în unitate de timp. Caracterizează o sursă luminoasă.

2. *Intensitatea luminoasă* –  $I_L$  – [candela - cd] este raportul dintre fluxul luminos emis de o sursă punctiformă într-un unghi solid infinit mic.

$$I_L = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (5.1.)$$

3. *Iluminarea* –  $E_v$  – [lux - lx] este densitatea fluxului luminos pe o suprafață.

$$E_v = \frac{d\Phi}{dA} = \frac{I_L \cdot \cos\theta}{r^2} \quad (5.2.)$$

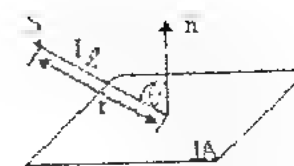


fig. 5.2.

În relație, r este distanța suprafeței de la sursă, θ este unghiul de incidență, definit prin unghiul dintre normala la suprafață și direcția sursei. Iluminarea este maximă când sursa este perpendiculară pe suprafață ( $\cos\theta=1$ ).

4. *Luminanța* – L – [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ] se mai numește și strălucirea suprafeței.

$$L = \frac{dI_L}{dA \cdot \cos\varphi} \quad \text{unde } \varphi \text{ este unghiul de observare} \quad (5.3.)$$

5. *Culoarea* – este o caracteristică luminii vizibile și depinde de lungimea de undă λ a luminii

6. *Factor de transmisie* – caracterizează mediul în raport cu lumina și se definește ca raportul dintre fluxul luminos obținut după trecerea luminii prin mediul respectiv și flux incident.

$$f_t = \frac{\Phi_2}{\Phi_1} \quad (5.4.)$$

#### Fenomene fotoelectrice

Când radiația ajunge la suprafața unui material, acesta se împarte în trei: o parte este reflectat, o parte este absorbit de material și o parte este transmis, trece prin material. Partea de radiație care este absorbită interacționează cu particulele din material, le modifică energia lor și apar fenomene care stau la baza realizării traductoarelor. Fenomene care pot să apară sub influența radiației luminoase:

1. *Fotoconducție* – se modifică conductivitatea electrică a materialului sub acțiunea luminii. Este o conversie opto-electrică care depinde de structura materialului. În funcție de unde provin electronii liberi care măresc conductivitatea fenomenul fotoconducție poate fi intrinsec, extrinsec sau de purtători liberi. Când la o excitare prin radiație luminoasă electronii din banda de valență trec în banda de conducție vorbim de fotoconducție intrinsecă. La revenirea electronilor în banda de valență ele degajă energie care încălzește materialul. În cazul materialelor semiconductoare unde există nivele adiționale cu electronii impurităților, la o excitare prin undă luminoasă electronii din nivelele adiționale trec în banda de conducție, mărind astfel conductivitatea și este vorba de fotoconducție extrinsecă. În cazul purtătorilor liberi datorită energiei absorbite crește mobilitatea acestora, deci și conductivitatea.

2. *Efectul fotovoltaic* – constă în apariția unei tensiuni electromotoare pe suprafețele unei joncțiuni p-n datorită absorbției de lumină.

3. *Efectul fotoemisiv* – în urma absorbției de energie provenit din radiația luminoasă, electronii capătă energie suficientă pentru a părăsi materialul. Este o conversie opto-electronică exterioară. fenomenul se folosește pentru fabricarea fotocatozilor sau fotomultiplicatoarelor, când catodul iluminat emite electroni și numărul electronilor emiși depinde de intensitatea luminoasă.



### se de radiații luminoase

Există o singură sursă de lumină naturală, soarele, toate celelalte surse sunt artificiale, ele funcționează pe baza emisiei de fotoni sau pe baza electroluminescenței.

În industrie se folosesc lămpi de incandescență cu wolfram sau tungsten, tuburi de neon, diode electroluminescente în domeniul vizibil sau infraroșu și surse de laser. Diodele electroluminescente prezintă o serie de avantaje cum sunt: durată de funcționare mare, compatibilitate TTL, rezistent la șocuri și vibrații, intensitatea luminoasă emisă este direct proporțională cu curentul care trece prin diodă. Sursele laser emit undă luminoasă monocromatică, coerentă de o intensitate foarte mare care poate fi dirijată. Unda laser se generează prin stimularea emisiei de radiații într-un material, prin excitarea ionilor, electronilor sau moleculelor.

### Parametrii principali fotodetectorilor:

Suprafața activă – este aria suprafeței care recepționează radiația

Sensibilitatea – se definește ca raportul dintre valoarea efectivă a semnalului de ieșire a traductorului și valoarea fluxului incident.

$$S = \frac{P_n}{\Phi} \quad (5.5)$$

Sensibilitate spectrală – se definește în raport cu lungimea de undă a radiației. Se notează cu  $S_\lambda$  și este lungimea de undă a celui flux incident pentru care semnalul de ieșire este maxim.

Constanta de timp – este timpul de răspuns al traductorului. Se definește ca fiind timpul în care semnalul de ieșire atinge 63% din valoarea sa finală.

Senzitivitatea – se definește ca aceea valoare minimă a fluxului incident care determină la ieșire o mărime măsurabilă. Depinde de zgomotul propriu al dispozitivului, respectiv de temperatură.

Zona de liniaritate – este acea zonă a caracteristicii în care răspunsul traductorului este proporțional cu iluminarea. Este limitat pe partea inferioară de sensibilitate (prag inferior) și pe partea superioară de saturație (prag superior).

Curent de întuneric – este semnalul de ieșire, curentul ce trece prin dispozitiv la un flux incident nul.

### Elemente sensibile radiațiilor luminoase

Elementele sensibile radiațiilor luminoase convertesc radiația luminoasă în semnal electric și se numesc fotodetectori. Pot fi de două feluri: generatoare, furnizează o tensiune electromotoare proporțională cu intensitatea luminoasă, și parametrice, când radiația luminoasă produce modificarea parametrului unui element de circuit.

#### 1. Celula fotovoltaică

Este o joncțiune p-n sensibilă la radiații, realizată pe semiconductor de siliciu, germaniu sau seleniu. La interacțiunea joncțiunii cu radiația luminoasă apare o tensiune electromotoare. Valoarea tensiunii variază logaritmic cu intensitatea luminoasă și nu depinde de aria suprafeței active (suprafața iluminată). Tensiunea maximă pe care poate să furnizeze o astfel de celulă este 0,5V. Pentru creșterea tensiunii celulele se leagă în serie.

La legarea unei sarcini la borne sau la scurtcircuitare apare un curent care depinde proporțional de iluminare și este influențat de aria suprafeței iluminate, precum și de puterea sarcinii. Valoarea curentului este de ordinul  $\mu A$  pentru creșterea curentului furnizat celulele se legă în paralel.

Simbolul și caracteristica tensiune-curent al celulei fotovoltaice se prezintă pe figura de mai jos.

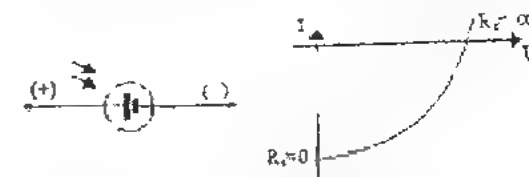


fig. 5.3

Tensiunea dată este puternic influențată de temperatură, scade cu creșterea temperaturii, iar curentul nu depinde de temperatură.

Formele de realizare: cilindrică, paralelipipedică. Randament 11-20%. Se folosesc în circuite de comandă, de control, pentru măsurări fotometrice. Are variante sensibile atât la radiații vizibile, cât și la radiații infraroșii.

În România se fabrică celule fotovoltaice la Microelectronica, cu denumirea ROL-011 și ROL-11, aria suprafeței active este  $13 \text{ cm}^2$ , tensiunea furnizată este cuprinsă între 350-360mV, curentul de scurtcircuit este 85-100 $\mu A$ .

#### 2. Fotodioda

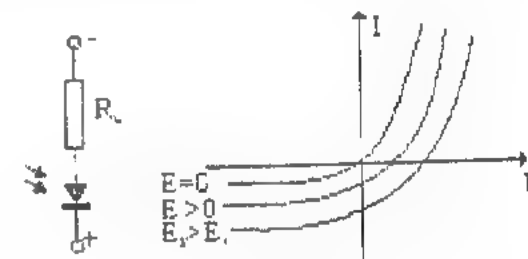


fig. 5.4

Fotodioda se folosește invers polarizată. Caracteristica tensiune-curent este asemănătoare cu caracteristica diodelor normale, doar că se deplasează caracteristica spre dreapta cu creșterea intensității luminoase. La o tensiune de polarizare constantă curentul crește proporțional cu creșterea iluminării, pentru o intensitate luminoasă nulă curentul prin dispozitiv este mic, se numește curent de întuneric. Semiconductoarele folosite sunt: germaniu, siliciu, indiu-stibiu, indiu-arsen. Există variante pentru domeniul vizibil, respectiv infraroșu. Sensibilitatea spectrală depinde de materialul din care este confecționat, de exemplu fotodioda de germaniu este sensibilă pentru  $\lambda = 1,6 \mu m$ , iar cea din indiu-arsen la  $\lambda = 3,5 \mu m$ .

Puterea disipată este  $P_d = 200 \text{ mW}$ . Pentru mărirea sensibilității se prevăd cu lentile. Variantele fabricate de Microelectronica sunt ROL-21 și ROL-22.

#### 3. Fototranzistor

Ca construcție sunt asemănătoare cu tranzistoarele obișnuite, doar că comanda lor se face prin intensitate luminoasă în loc de curent de bază. Pot fi cu baza accesibilă sau inaccesibilă. Sensibilitatea lor este mult mai mare decât a fotodiodelor, aproximativ de 500 de ori. Pentru intensitate luminoasă zero  $E=0$  curentul de colector este  $I_c = \beta I_{c0}$ . La apariția radiației luminoase,  $E>0$  curentul prin tranzistor este  $I_c = \beta(I_{c0} + I_L)$ . Are o caracteristică neliniară. Simbolul și caracteristica sunt prezentate mai jos:



fig. 5.5

### Fototristor

Funcționează ca și tiristoarele obișnuite în circuite de comandă, comanda făcându-se prin intensitatea luminoasă

### Fotorezistență

Sunt componente pasive care își modifică rezistivitatea sub influența intensității luminoase. Materialul semiconductor din care este făcut determină lungimea de undă la care este sensibil. Fotorezistențele fabricate din PbS sunt sensibile la infraroșu, CdS este sensibil la  $\lambda=600\text{nm}$ , iar CdSe la  $\lambda=720\text{nm}$ . Se mai folosesc telur, seleniu, indiu-arsen, germaniu-aur

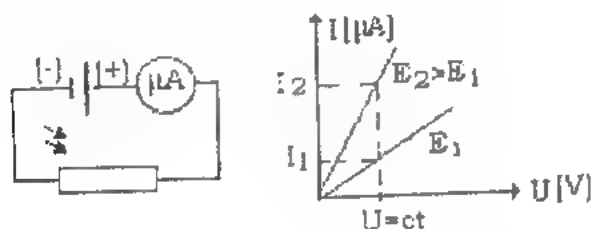


fig. 5.6.

Rezistența scade cu creșterea iluminării. Au o caracteristică tensiune-curent liniară, influențat de intensitate luminoasă. Pot funcționa în circuite de c.c. sau c.a. Timpul de răspuns este în jur de 10ms, este puternic influențat de temperatură. Funcționarea se bazează pe efectul fotoelectric intern.

### Tubul fotomultiplicator

Funcționarea tubului fotomultiplicator se bazează pe efectul fotoelectric extern, emisia de electroni sub influența radiației luminoase. Este un detector de mare sensibilitate, în care se combină efectul fotoemisiv al unui catod, cu efectul de emisie secundară a unor electrozi bombardați cu electroni.

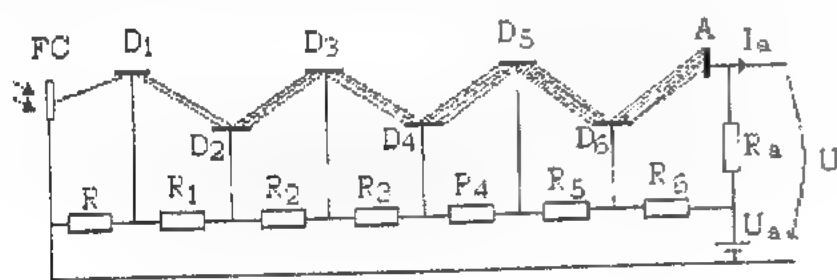


fig. 5.7.

FC- fotocatod, D-dinozi într-un număr de la 5 la 10, A-anod.

$U_a=800-1500\text{V}$ , curentul anodic  $I_a=0,1-100\mu\text{A}$ , timp de răspuns  $t_c=10-100\text{ns}$ .

Dinozii sunt alimentați cu o tensiune crescătoare pornind de la FC (se folosește un divizor de tensiune). Dinozii sunt din material cu proprietatea de emisie secundară. În cazul unui fotomultiplicator cu 10 dinozi amplificarea este  $10^5 - 10^6$ , amplificarea determinându-se ca raportul dintre electroni captați de anod și numărul fotonilor incidenti la fotocatod. Raport semnal-zgomot mic, semnalul de ieșire nu necesită o amplificare ulterioară.

## Traductoare pentru radiații nucleare

După natura particulelor care alcătuiesc radiațiile se deosebesc:

- radiații cu natură electromagnetică puternic penetrante, alcătuite din particule fără masă de repaus (radiațiile X și  $\gamma$ )
- radiații corpusculare, alcătuite din particule cu masă de repaus. Acestea pot fi fascicule din particule elementare (electroni, protoni, neutroni), fascicule de nuclee de atomi (deuteroni, helioni) și fascicule de atomi ionizați ( $\text{He}^+$ ,  $\text{Li}^+$ ).

În industrie se folosesc radiații  $\alpha$  (nuclee de  $\text{He}_2^+$ ) radiații  $\beta$  și radiații  $\gamma$ .

### Mărimi caracteristice radiațiilor nucleare

1. Energia purtată:  $W = N \cdot W_p$  [J] (5.6)

unde N este numărul de particule din fascicol și  $W_p$  este energia particolei.

2. Cantitatea de radiație: - Q - este raportul dintre energia purtată și unitatea de suprafață perpendiculară pe flux.

$$Q = \frac{W}{A} \quad [\text{J/m}^2] \quad (5.7)$$

3. Intensitatea de radiație: - I - este energia care străbate unitatea de suprafață în unitatea de timp

$$I = \frac{W}{A \cdot t} \quad [\text{J/m}^2\text{s}] \quad (5.8)$$

4. Intensitatea de particule: - J - este numărul de particule care trece printr-o suprafață unitară în unitatea de timp.

$$J = \frac{N}{A \cdot t} \quad [\text{particule/m}^2\text{s}] \quad (5.9)$$

La interacțiunea fascicolului cu material apar fenomene, procese care depind atât de natura fascicolului, cât și de substanță. Procesele predominante sunt ionizarea și excitarea atomilor datorită ciocnirilor. În ambele situații scade energia transportată de fascicol (energia este cedată materialului). La trecerea fascicolului printr-o substanță de grosime x intensitatea de radiație scade exponențial după legea:

$$I(x) = I_0 \cdot e^{-\mu x} \quad (5.10)$$

unde  $I_0$  este intensitatea inițială, la intrarea în substanță,  $\mu$  este un coeficient linear de absorbție.

### Surse și caracteristicile surselor

În aplicațiile industriale se folosesc izotopi radioactivi, care sunt surse artificiale și emit spontan radiații nucleare

1. Constanta de dezintegrare: -  $\lambda$  - probabilitatea de dezintegrare a unui nucleu în unitatea de timp.

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (5.11)$$

$N_0$  este numărul nucleelor la  $t=0$

2. Timp de înjumătățire: - timpul în care numărul de nucleu scade la jumătate  $N = N_0/2$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (5.12)$$

Activitatea sursei -  $\Delta$  - se definește ca numărul de nucleu care se dezintegrează în unitatea de timp.

$$\Delta = -\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad (5.13.)$$

ii)  $1\text{Ci} = 3,7 \cdot 10^{10}$  dezintegrări/s

Puterea sursei - produsul dintre activitatea sursei și energia degajată la o dezintegrare elementară.

$$P_s = \Delta \cdot W_e \quad (5.14)$$

Intensitatea sursei - este numărul de particule care străbate unitatea de suprafață în unitatea de timp.

Principali izotopi radioactivi folosiți ca surse în industrie

Izotopul radioactiv	Radiația emisă			Timp de înjumătățire
	$\gamma$ [MeV]	$\beta$ [MeV]	$\alpha$ [MeV]	
Ba <sup>137</sup>	0,662	-	-	2,6 min
Co <sup>60</sup>	1,17, 1,33	0,306	-	5,27 ani
Au <sup>198</sup>	0,411, 0,68	0,97	-	65 h
B <sup>10</sup>	-	-	1,9	

### Detector de radiații nucleare

Detectorul convertește numărul de particule incidente pe suprafața activă a aductorului, în semnal electric sub formă de impuls. După modul de interacțiune a radiației incidente cu substanța de pe suprafața activă, detectoarele pot fi

bazate pe ionizare directă: camera de ionizare, contorul Geiger-Müller, detectori cu semiconductori.

bazate pe ionizare indirectă: detector cu scintilație, detector Cerenkov.

### Parametrii detectoarelor

- amplitudinea impulsului de ieșire
- viteza de numărare: raportul dintre numărul total de impulsuri și timp de măsură
- puterea de rezoluție: numărul de impulsuri de ieșire în unitatea de timp
- eficacitatea detectorului: raportul dintre numărul de particule care dau impuls și numărul de particule incidente
- selectivitatea: depinde de materialul folosit în detector și determină tipul de radiație pentru care este sensibil
- volumul sensibil al detectorului: acea zonă a detectorului prin care trecerea particulei provoacă un impuls

#### 1. Camera de ionizare

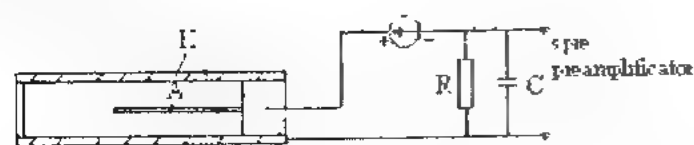


fig. 5.8.

Între perechile de armături se află un mediu izolator gazos, argon, heliu, kripton, neon sau xenon. Tensiunea de polarizare  $U_c$  la care se leagă anodul este o sursă continuă de intensitate  $U_c = 50 \sim 200\text{V}$ . În lipsa radiației curentul prin rezistență este nul. La pătrunderea unei particule, mediul de ionizează și apare un curent. Intensitatea curentului este proporțională cu intensitatea radiației. Perechile de ioni formați sunt captate de anod,

Forma lor de realizare depinde de radiația pentru care se folosește: sunt de formă plată pentru radiații  $\alpha$ , și de formă cilindrică pentru radiații  $\beta$  și  $\gamma$ .

Fereastra prin care trec particulele se realizează din metal sau nylon pentru radiații  $\alpha$ , și din metal cilindrică pentru radiații  $\beta$  și  $\gamma$ .

Pot funcționa:

- în regim de impulsuri: când timpul de colectare al ionilor este mai mic ca constanta de timp a circuitului de ieșire, iar acesta mai mic ca timpul dintre două ciocniri.  $\tau < RC < t_{colectare}$
- în regim de integrare: impulsurile nu se mai pot deosebi, avem la ieșire o tensiune proporțională cu radiație

### 2. Detectorul cu scintilație

Funcționarea acestui detector se bazează pe o conversie intermediară: radiație nucleară în radiație de lumină iar acesta în curent electric. Pentru conversia intermediară se folosește un material numit scintilator, care prezintă fenomenul de luminescență sub acțiunea radiațiilor  $x$  sau  $\gamma$ . Ca material scintilator se folosesc materiale organice (hidrocarburi aromatice, antracen, naftalen), sau materiale anorganice (substanțe alcaline).

Parametri principali a materialului scintilator:

- eficacitatea descintilație: raportul dintre energia luminoasă emisă și energia disipată
- coeficient de absorbție: raportul dintre fluxul disipat și incident
- spectrul de emisie: lungimea de undă a luminii emise
- timp de răspuns: 10ns - 1μs.

Detectorul este de fapt un fotomultiplicator, care conține în apropierea fotocatodului un material scintilator.

### 3. Detectoare cu semiconductoare

Modul de funcționare este asemănător cu camera de ionizare, diferența constă în faptul că în locul gazului izolator se află un material semiconductor. Energia necesară creării unei perechi de ioni este mai mică.

Se pot folosi materiale semiconductoare omogene sau o joncțiune p-n. Materialele semiconductoare omogene au rezistivitate mare  $\rho > 10^8 \Omega\text{m}$ . Se folosesc pentru detectarea particulelor puternic penetrante. Joncțiunea p-n se deosebește de joncțiunea normală din construcția diodelor, are o regiune de sarcină spațială mai groasă și mai aproape de suprafață. Joncțiunea se folosește polarizat invers cu o tensiune mai mică ca tensiunea de străpungere.

### aptoare specifice detectoarelor nucleare

Adaptoarele folosite conțin amplificator de sarcină și un amplificator de semnal.  
O primă cerință este impedanță de intrare foarte mare, se folosesc tranzistoare FET.

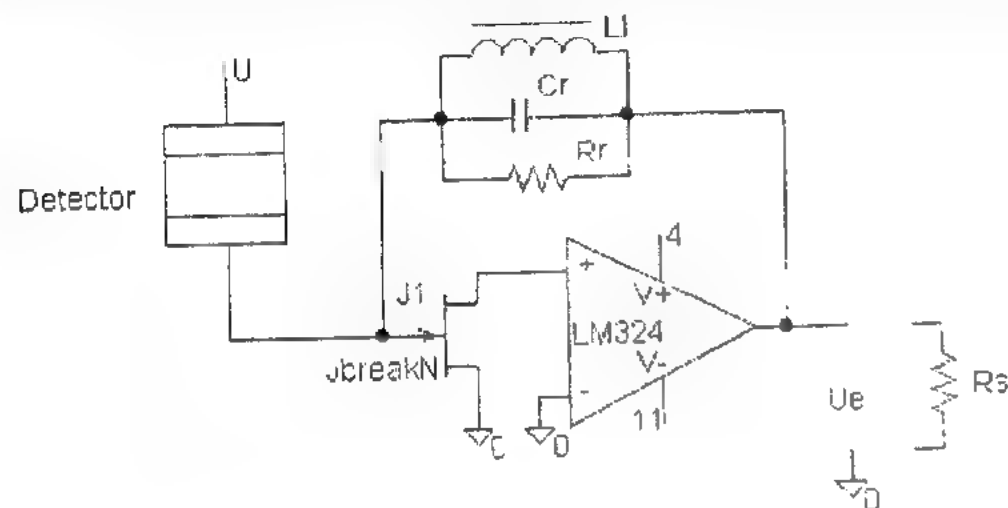


fig. 5.9.

La apariția unei particule capacitatea se încarcă brusc de curentul dat de detector, ei se descarcă lent pe rezistențele R, și Rs până la momentul  $t=T$  unde T este întârzierea rodușă de bobina LI (linie de întârziere). Acest timp T este mai mare ca timpul de lectură a sarcinii. La ieșire furnizează impulsuri al cărei intensitate (frecvență) este opoțional cu radiația

Structura generală a unui traductor este

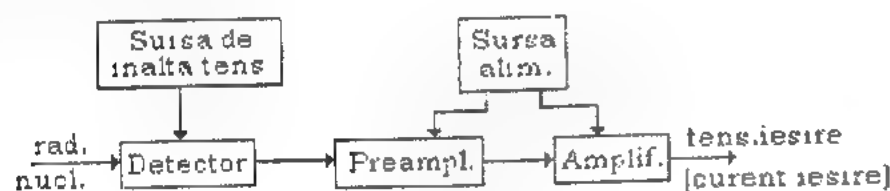


fig. 5.10.

## Capitolul 6.

### TRADUCTOARE DE DEFORMAȚII

Traductoarele de deformări se folosesc pentru detectarea deformărilor mici cauzate de tensiuni interne și care pe parcursul funcționării pot produce deteriorări grave

Deformația care se măsoară este alungirea specifică  $\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$  variația relativă a lungimii. Aceste traductoare se folosesc în industria construcțiilor în tehnologia organelor de mașini, pentru măsurarea rugozităților, forțelor sau momentelor. Pot fi folosite și ca traductoare intermediare pentru măsurarea vibrațiilor.

Tipuri de traductoare folosite sunt în general traductoare electrice rezistive TER, al căror funcționare se bazează pe modificarea rezistenței datorită modificării lungimii sau secțiunii traductorului. Aceste traductoare pot fi realizate din materiale conductoare sau semiconductoare TES. Acestea din urmă sunt mai sensibile și furnizează semnale de ieșire mai mari.

Sunt traductoare pasive, se introduc în laturile unei punți de măsurare care funcționează la dezechilibru. Tensiunea de dezechilibru este proporțională cu deformația. Pentru a înlătura efectele vibrațiilor, perturbațiilor puntea se alimentează cu tensiune alternativă de frecvență 10kHz.

#### Traductoare electrice rezistive – TER

Funcționarea se bazează pe dependența rezistenței unui material conductor de tensiuni mecanice care provoacă modificarea parametrilor care determină rezistența

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (6.1.)$$

Dacă piesa pe care se lipește traductorul este supus unei întinderi sau comprimări, traductorul preia această modificare și își modifică lungimea l și/sau secțiunea S variația relativă a rezistenței va fi:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta S}{S} \quad (6.2.)$$

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \epsilon(1 + 2\mu) \quad (6.3.)$$

unde  $\mu$  este un factor care caracterizează raportul dintre deformația longitudinală și transversală.

Se definește coeficientul de sensibilitate tensometrică.

$$k_t = \frac{\Delta R/R}{\epsilon} = 1 + 2\mu \cdot \frac{1}{\epsilon} \cdot \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad (6.4.)$$

$k_t = 0,5 - 5$

Variația de rezistență a traductoarelor electrice rezistive TER este foarte mică, de aceea este important ca valoarea lor să nu se modifice pe durata măsurării. Se evită influența temperaturii prin folosirea unor materiale cu coeficient de variație a rezistenței cu temperatura mic, cum sunt constantan sau aliajul crom-nichel.



Traductoarele se realizează sub forma unor fire subțiri, din care se realizează rețele rezistive de diferite forme pe hârtie sau înglobate în materiale plastice. Pot fi făcute prin tehnologia circuitelor imprimate. Forma lor este foarte diferită, depinde de aplicația specifică. Ele se lipesc pe suprafața obiectului, al cărei deformare se măsoară. Dezavantajul lor este că se pot folosi numai o singură dată, nu se pot dezlipi și aplicate pe un alt obiect.

Rezistența lor nominală este cuprinsă între  $R=50 - 1000 \Omega$ , cele mai folosite sunt rezistențele cu valoare nominală cuprinsă între 100 și 200  $\Omega$ .

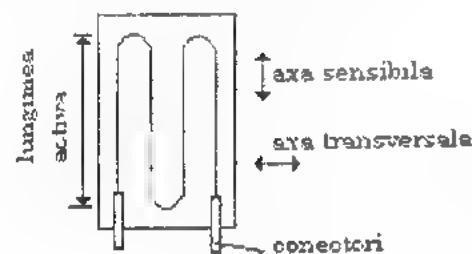


fig. 6.1.

Montarea se face prin lipire cu diverși adezivi pe piesa care este supus încercărilor. Adezivele trebuie să aibă proprietăți speciale, comportare bună în condițiile de încercare, rezistent la temperatură și umiditate. Adezivul utilizat trebuie să aibă următoarele proprietăți:

- proprietăți electrice și mecanice bune pentru a transmite corect eforturile
- aderare perfectă la suprafață
- să nu fie higroscopic
- să păstreze proprietățile bune într-o gamă largă de temperatură
- aplicare ușoară, uscare rapidă.

Proprietățile adezivului influențează constanta și precizia traductorului. Se folosesc adezivi pe bază de celuloză și acetone, adezivi la care pelicula se formează în urma unor reacții chimice sau adezivi termoplastici.

Acste traductoare se mai numesc și *mărci tensometrice*.

### Traductoare electrice semiconductoare - TES

Sunt ușor de utilizat, se pot folosi și fără preamplificator, deoarece semnalul de ieșire este de nivel mai mare și au sensibilitate mai mare. Materiale semiconductoare folosite sunt germaniul și siliciul de tip n sau p.

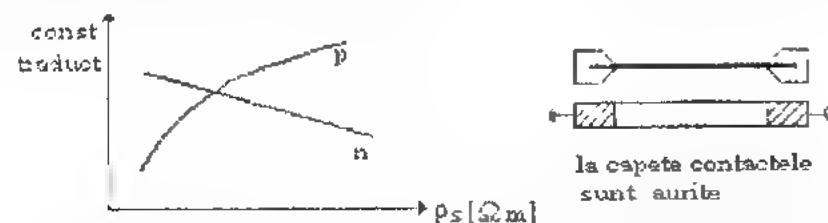


fig. 6.2

Lamele semiconductoare folosite se taie dintr-un singur cristal după o anumită axă, față de care este sensibilă la acțiuni mecanice. Modificarea de rezistență depinde de orientarea solicitării în raport cu axe.

Variația relativă a rezistenței în funcție de deformarea specifică năeste liniară.

$$\frac{\Delta R}{R} = 175\varepsilon + 72,625\varepsilon^2 + a\varepsilon + b\varepsilon^2 \quad (6.5)$$

La TER curentul este limitat de secțiunea firului rezistiv. Pentru TES variația rezistenței cu curentul este semnificativ, se determină o limită pentru curentul care trece prin TES.

Traductoarele TER sunt influențate de mai mulți factori: temperatură, umiditate, deformări transversale, durata solicitărilor. Traductoarele TES sunt mai rezistente, au o comportare mai stabilă față de factori externi, perturbații.

### Circuite electrice pentru măsurări tensometrice

Deoarece funcționarea traductorilor TER și TES se bazează pe modificarea de rezistență, circuitul de măsurare este de tip punte care se alimentează în c.c. sau c.a.

#### Puntea în echilibru

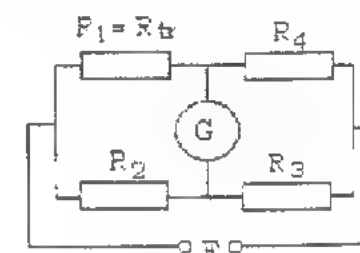


fig. 6.3.

Traductorul  $R_{tr}$  se introduce în brațul punții de măsură, celelalte rezistențe fiind de valori apropiate de valoarea nominală a traductorului. La echilibru se scrie relația

$$R_{tr} \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4 \quad \text{sau} \quad \frac{R_{tr}}{R_2} = \frac{R_4}{R_3} \quad (6.6)$$

La variația rezistenței traductorului:  $R_{tr} \rightarrow R_{tr} + \Delta R_{tr}$  puntea se echilibrează cu o modificare corespunzătoare a rezistenței  $R_4 = R_4 + \Delta R_4$  de unde rezultă:

$$\Delta R_{tr} = \frac{R_2}{R_3} \cdot \Delta R_4 \quad (6.7)$$

Precizia rezistenței  $R_4$  determină precizia măsurării. Tensiunea de alimentare nu are nici o influență asupra rezultatului măsurării. Tensiunea de alimentare se alege astfel ca la echilibru curentul prin ter să nu depășească valoarea admisibilă:

$$I = \frac{E}{R_{tr} + R_4} \quad (6.8)$$

Pentru echilibrare se pot folosi rezistențe suplimentare în interiorul punții sau legate în paralel cu traductor. Pe figura de mai jos se prezintă două variante de punți de măsură.

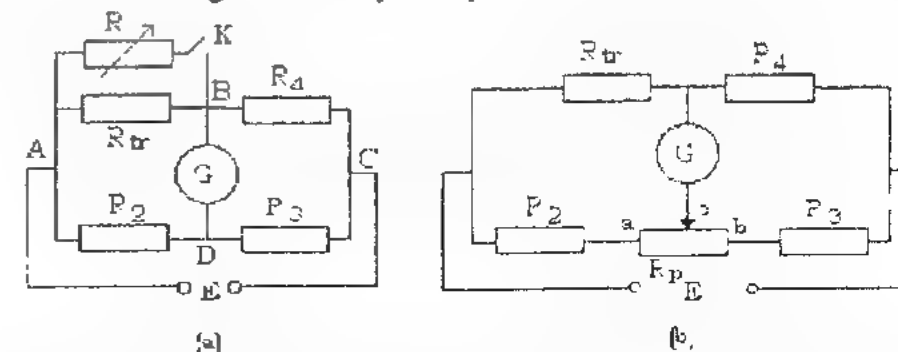


fig. 6.4.

Pentru varianta a) inițial puntea este la echilibru pentru valoarea nominală a rezistenței traductorului  $R_{tr} = R_{tr0}$  și comutatorul K este deschis. La variația rezistenței traductorului, pentru echilibrare se închide comutatorul K și apare în locul rezistenței traductorului rezistența  $R_0 = R \cdot R_{tr} / (R + R_{tr})$ . Variația de rezistență este:

$$\Delta R_r = R_r - R_0 = R_0 - \frac{R \cdot R_r}{R + R_r} = \frac{R_0^2}{R + R_r} \quad (6.9.)$$

De obicei valoarea rezistenței  $R$  este foarte mare comparativ cu  $R_{tr}$ . De exemplu pentru  $R_{tr}=120\Omega$   $R=60k\Omega$ .

Pentru varianta b) inițial puntea este la echilibru pentru valoarea nominală a rezistenței traductorului și cursorul se află în punctul a. Relația care se scrie este.

$$R_0(R_3 + R_p) = R_2 \cdot R_4 \quad (6.10.)$$

Când se modifică rezistența traductorului echilibrul se restabilește prin deplasarea cursorului din poziția a spre poziția b. La echilibrul nou relația devine:

$$\begin{aligned} (\Delta R_r + R_0)(R_3 + R_{bc}) &= R_4 \cdot (R_2 + R_{ac}) \\ (\Delta R_r + R_0)(R_3 + R_{bc}) &= R_4 \cdot (R_2 + R_p - R_{bc}) \end{aligned} \quad (6.11.)$$

Din relație se observă o dependență liniară a variației de rezistență a traductorului  $\Delta R_{tr}$  cu rezistența  $R_{bc}$ .

#### Puntea în dezechilibru

În diagonala de măsurare în locul galvanometrului se pune un amplificator de măsură care preia tensiunea proporțională cu variația de rezistență. Puntea se echilibrează inițial pentru valoarea nominală a traductorului.

De obicei aceste punți funcționează cu două sau patru traductoare dintre care unele sunt traductoare de măsură altele au rol de compensare a influenței mediului.

Tensiunea de dezechilibru.

$$U_D = R_1 \frac{E}{R_1 + R_3} - R_2 \frac{E}{R_2 + R_4} \quad R_1 = R_{tr} \quad (6.12.)$$

Această tensiune inițial este zero pentru  $R_{tr0}$ . Variația tensiunii de dezechilibru la variația rezistenței  $R_{tr}$ :

$$\Delta U_D = \frac{\partial U_D}{\partial R_1} \Delta R_1 + \frac{\partial U_D}{\partial R_2} \Delta R_2 + \frac{\partial U_D}{\partial R_3} \Delta R_3 + \frac{\partial U_D}{\partial R_4} \Delta R_4 \quad (6.13.)$$

După efectuarea calculelor se obține:

$$\Delta U_D = E \frac{R_1 \cdot R_3}{(R_1 + R_3)^2} \left( \frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2} - \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) \quad (6.14.)$$

**Concluzii:** variația rezistențelor din brațele opuse măresc tensiunea de dezechilibru, crește sensibilitatea. Variația rezistențelor din brațe alăturate scad sensibilitatea punții. Deci traductoarele se introduc în brațe opuse diferențial.

Traductoarele TES au o rezistență mai mare, rezistența brațelor trebuie ales corespunzător, iar sursa de alimentare să fie de curent constant

### Captori cu traductoare tensometrice rezistive

Captorul este o construcție mecanică în care sunt înglobate elemente elastice pe care se lipesc traductoarele electrice rezistive. Captorii se conectează în serie cu sarcina ele preiau și transmit solicitarea corespunzătoare traductorului

Captorul, suportul pe care se lipesc TER poate fi o bară solicitată la încovoiere, compresiune, răsucire sau o bară curbată sau o membrană.

Materialul captorului trebuie să aibă anumite proprietăți pentru a asigura efectuarea unor măsurări de deformății cât mai mari, fără depășirea limitei de elasticitate

Astfel trebuie să aibă rezistență mare la rupere, lipsit de fenomene de fluaj la temperatura de lucru, și să aibă abatere mică de la liniaritate.

#### 1. Captori pentru măsurarea deplasărilor (abatere de dimensiuni)

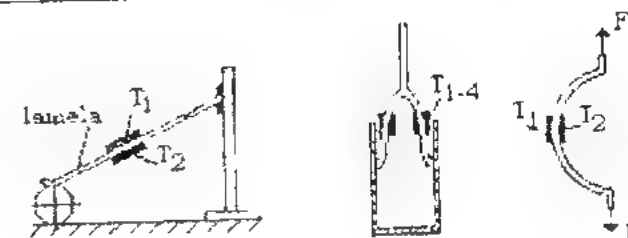


fig. 6.5.

Lamelele elastice, pe care se lipesc traductoarele electrice rezistive, sunt supuse unor deformări într-o direcție sau alta în cazul existenței unei abateri de la dimensiune, în urma acestuia se modifică rezistența traductoarelor, variație care se sesizează printr-o schemă de punte în regim dezechilibrat.

#### 2. Captori dinamometrici

Se folosesc pentru măsurarea forțelor. Variantele constructive a captorilor, modul de aplicare a traductoarelor (timbrilor tensometrice) depinde de natura și sensul forței.

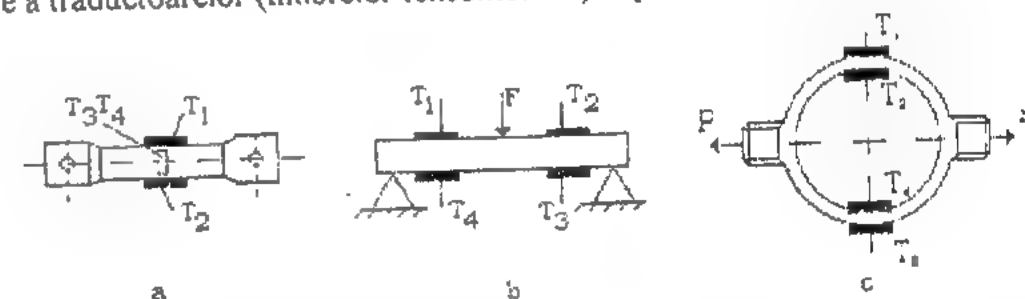


fig. 6.6.

Pe figura de mai sus se prezintă diferite tipuri de captori pentru forța de tracțiune (fig. 6.6a), forță de încovoiere (fig. 6.6b) și forță de tracțiune (fig. 6.6c) cu captor înclui pentru forțe cuprinse între  $10^2$ - $10^3$  kgf.

#### 3. Captori pentru măsurarea cuplurilor de răsucire

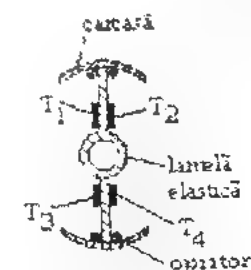


fig. 6.7.

Lamelele elastice este antrenată, supusă la răsucire la mijloc de către piesa care este supusă măsurării. Deplasarea lamelei este împiedicată de opritori, datorită acestuia apare o deformare a lamelei care se transmite traductoarelor TER

Limitele minime și maxime, în care se măsoară cupluri de răsucire, sunt determinate de sensibilitatea captorului și de a nu distruge captorul.

#### 4. Captori pentru măsurarea presiunilor

Forma constructivă și materialul captorului depinde de mărimea presiunii de măsurat. Pentru presiuni mari captorii sunt elemente elastice sub formă tubulară. Pentru presiuni medii se folosesc membrane elastice circulare. Iar pentru presiuni mici se utilizează captori cu burduf sau tuburi manometrice.

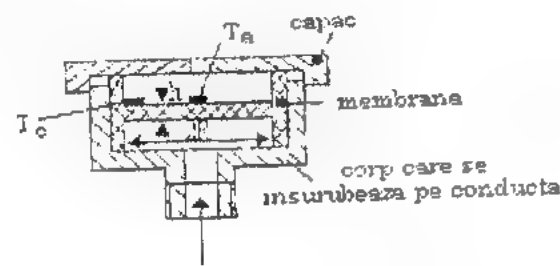


fig. 6.8.

unde  $T_a$  este traductorul activ

$T_c$  este traductor de compensare  
Presiunea provoacă apariția unor momente în membrană. Momente radiale  $M_R$  la distanța  $r$  de la centru, și momente tangențiale  $M_T$ .

$$M_R = \frac{P}{16} (1,3R^2 - 1,9r^2) \quad (6.15)$$

$$M_T = \frac{P}{16} (1,3R^2 - 3,3r^2) \quad (6.16)$$

#### 5. Captori pentru măsurarea vibrațiilor

Construcția și funcționarea unui seismograf pentru măsurarea vibrațiilor

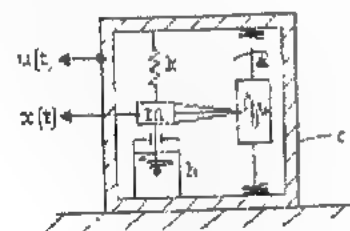


fig. 6.9.

unde  $c$  este un corp solidar cu piesa care vibrează

$m$  este masă seismică fixată de corp printr-un resort  $k$  și amortizor  $h$ .

Vibrația se transmite în întregime masei seismice, al cărei vibrație se înregistrează pe tamburul care se rotește. Captorii pentru măsurarea vibrațiilor se realizează pe acest principiu. Se pot măsura accelerații frecvențe sau vibrații în funcție de valoarea lui  $k$ ,  $h$  și  $m$ . Structura unui captor de vibrații cu TER se prezintă pe fig. 6.10.

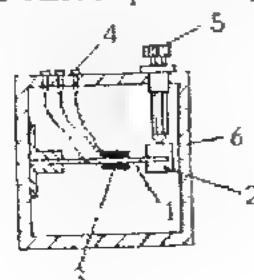


fig. 6.10.

unde 1 lamelă elastică care preia vibrațiile prin intermediul cutiei captorului, care se fixează pe masa al cărei vibrație se măsoară

2. masă seismică

3. traductoare electrice rezistive (2-4 buc)

4. borne de ieșire

5. șurub de etalonare

6. cutia aparatului

După poziționarea lamelei se poate măsura vibrații verticale sau orizontale. Traductorul TER își modifică rezistența în funcție de vibrație. Frecvența proprie este 5 – 10 Hz. Se pot măsura vibrații cu frecvență mai mare ca 15 – 20 Hz cu o amplitudine de 0,01 mm. Traductorul electric rezistiv se leagă la o punte de măsură alimentată cu c.a.

Captorii realizați pe acest sistem pot funcționa în trei regimuri de funcționare, care depind de parametrii  $h$ ,  $m$  și  $k$  al captorului, precum și de frecvența vibrației

Dacă  $u(t) = U \sin \omega t$  este ecuația de vibrație a corpului, ecuația de mișcare a masei seismice este:

$$m \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + k \frac{dx(t)}{dt} + hx(t) = 0 \quad (6.17)$$

unde primul termen reprezintă forța de inerție, al doilea termen reprezintă forța elastică, iar al treilea forța de frecare produs de amortizor. Soluția ecuației are forma:

$x(t) = A U \sin(\omega t - \varphi)$  în care  $A$  este factor de amplificare și depinde de raportul  $\frac{\omega}{\sqrt{h/m}}$

$\varphi$  este defazajul dintre oscilațiile corpului  $c$  și oscilațiile

masei seismice și depinde de  $k$ ,  $h$  și  $\omega$ .

Ridicând curba de variație a factorului de amplificare  $A$ , în funcție de raportul  $\frac{\omega}{\sqrt{h/m}}$  se

pot determina cele trei zone de lucru al traductorului (fig. 6.11.).

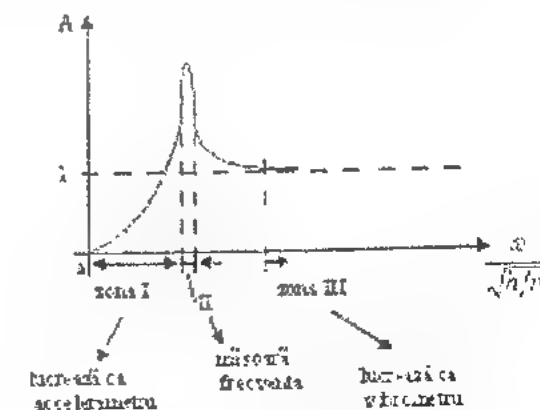


fig. 6.11.

În zona I traductorul măsoară accelerația, în zona II măsoară frecvența, iar în zona III măsoară vibrația corpului

## Capitolul 7.

### TRADUCTOARE PENTRU FORȚE ȘI MOMENTE

Forța este un vector deci are sens, direcție și modul. Forța se poate caracteriza prin accelerație pe care o imprimă structurii cinematice, corpului.

$$\vec{F} = k \cdot m \cdot \vec{a} \quad [N] \quad (7.1.)$$

unde  $k$  este un coeficient care depinde de unități

Forța se poate determina și prin intermediul momentului  $M$ .

$$\vec{M} = \vec{F} \cdot l \quad \text{sau} \quad \vec{M} = J \cdot \vec{a}_\omega \quad (7.2.)$$

unde  $J$  este moment de inerție,  $a_\omega$  accelerația unghiulară, respectiv  $l$  brațul forței.

Momentul poate fi de încovoiere, de tordire sau de forfecare.

Forțele de întindere și de compresiune sunt în strânsă legătură cu alungirea relativă, deformare produsă de forța ce acționează pe unitate de suprafață:

$$\varepsilon = \frac{\tau}{E} \quad \text{cu unitatea de măsură} \quad \left[ \frac{mm}{m} \right] \quad \text{sau} \quad \left[ \frac{\mu m}{m} \right] \quad (7.3.)$$

în care  $\varepsilon$  este deformarea (alungirea),  $\tau$  effort unitar,  $E$  este modul de elasticitate.

#### 1. Traductoare de tip tensorezistiv

Sunt mărci tensometrice care se aplică pe obiect și se leg la o punte care lucrează în c.a. În funcție de numărul traductoarelor care se leg la punte deosebim sfert de punte (a) cu un singur traductor, semipunte (b) cu două traductoare și punte completă (c) cu patru traductoare. Când se folosesc două sau patru traductoare ele se montează diferențial, mărind astfel sensibilitatea punții.

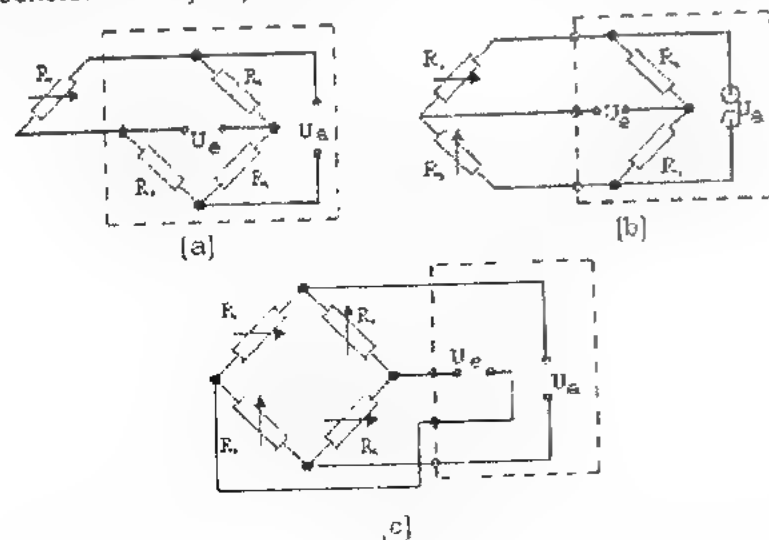


fig. 7.1.

Tensiunea de ieșire  $U_e$  este o funcție liniară de forță sau moment. Această tensiune este mică de ordinul mV, se folosesc adaptoare pentru obținerea unei tensiuni măsurabile.

#### Adaptoare alimentate în c.c.

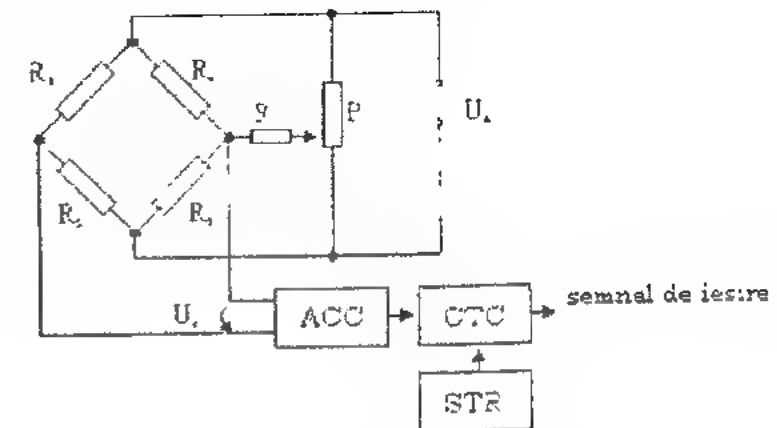


fig. 7.2.

Pe lângă puntea tensometrică apare amplificatorul de curent continuu ACC, convertorul tensiune-curent CTC, sursa de tensiune de referință STR. Amplificatorul de c.c. folosește o schemă de amplificator diferențial cu trei AO. Convertorul tensiune-curent furnizează la ieșire un curent proporțional cu tensiunea aplicată la intrare, asigurând în același timp și o valoare unificată.

#### Adaptoare alimentate în c.a.

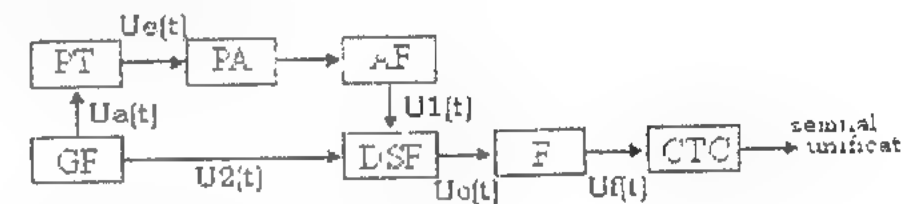


fig. 7.3.

unde GF generator de frecvență 2 - 5 kHz

PT punte tensometrică

PA preamplificator

AF amplificator final

DSF demodulator sensibil la fază

FTJ filtru trece jos pentru obținerea componentelor de joasă frecvență

CTC convertor tensiune-curent care dă la ieșire un semnal unificat.

Adaptoarele de c.a. asigură o separare galvanică între intrare și ieșire și permit folosirea altor traductoare sau elemente sensibile.

Funcționarea se bazează pe faptul că la alimentarea punții tensometrice cu o tensiune sinusoidală se obține o tensiune de dezechilibru al cărei fază diferă de faza tensiunii de alimentare.

Dacă tensiunea de alimentare este:

$$u_a(t) = U_a \sin \omega_a t \quad (7.4.)$$

tensiunea de dezechilibru va fi:

$$u_e(t) = U_e \sin(\omega_e t + \varphi) \quad (7.5.)$$

după amplificare această tensiune devine:

$$u_1(t) = U_1 \sin(\omega_1 t + \varphi) \quad (7.6.)$$

În DSF intră două tensiuni  $u_1(t)$  tensiune proporțională cu tensiunea de dezechilibru al punții și  $u_2(t) = U_2 \sin \omega_2 t$  tensiune proporțională cu tensiunea de alimentare și comence



Tensiunea de ieșire din DSF este:

$$u_o(t) = k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{U_1 \cdot U_2}{2} [\cos \varphi - \cos(2\omega_0 t + \varphi)] \quad (7.7)$$

Din această tensiune FTJ extrage componenta continuă care este proporțională cu defazajul introdus de puntea tensometrică:

$$u_j(t) = k \cdot \frac{U_1 \cdot U_2}{2} \cos \varphi \quad (7.8)$$

Amplasarea mărcilor tensometrice pentru cele mai importante solicitări mecanice.

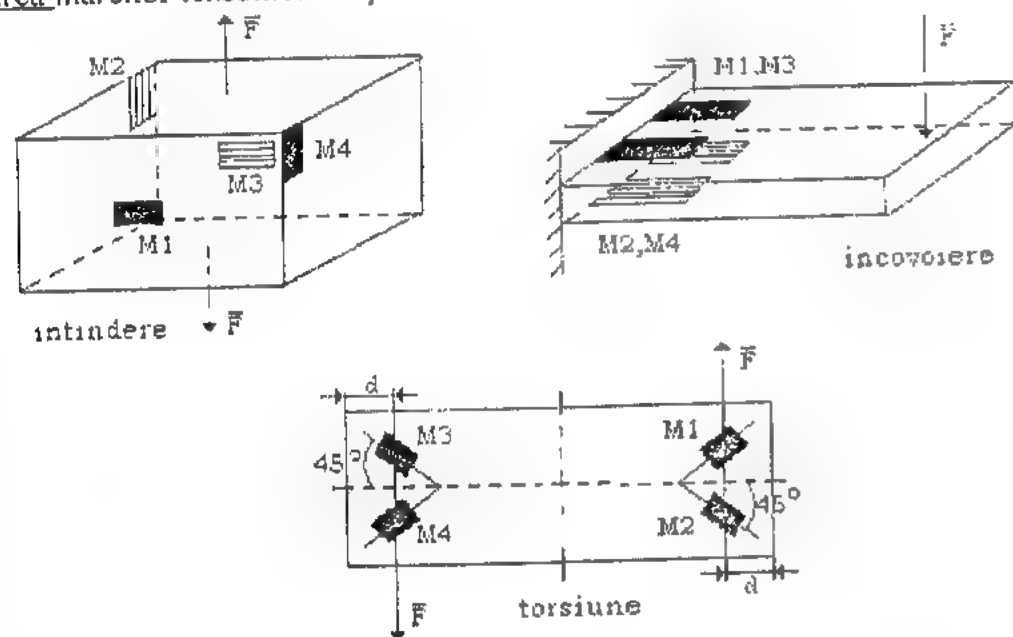


fig. 7.4.

## 2. Traductoare cu coardă vibrată

Elementul sensibil folosit are proprietatea de a vibra cu o anumită frecvență care depinde de starea de tensiune a structurii sale

Frecvența fundamentală de rezonanță a unei coarde tensionate este:

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{\tau}{m_l}} \quad (7.9)$$

în care L este lungimea coardei,  $\tau$  tensiunea internă, și  $m_l$  este masa pe unitatea de lungime. Modificarea de frecvență se obține în două moduri:

- se modifică tensiunea din coardă la lungime constantă, se măsoară direct efortul
- modificarea lungimii la efort fix, se măsoară alungirea produsă de efort

La apariția unui efort intern în coardă datorată forței sau momentului de măsurat, se modifică frecvența de vibrație a corzii. modificarea de frecvență se sesizează cu circuite corespunzătoare.

Pentru a asigura stabilitatea în funcționare, respectiv sensibilitatea maximă, coarda trebuie menționată permanent la rezonanță. Acesta se face prin aplicarea unui semnal de reacție proporțional cu variația de frecvență și se readuce la rezonanță

Coarda este excitat și readus la rezonanță prin două moduri.  
a) plasarea coardei într-un câmp magnetic constant

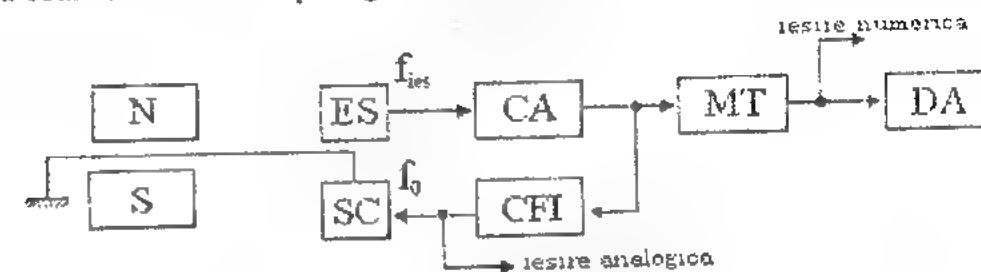


fig. 7.5.

în care N-S este magnet permanent care crează câmpul magnetic permanent în care se plasează coarda,

SC sursă de c.a. care alimentează coarda cu o frecvență  $f_0$ , dar care depinde și de lungimea L a coardei și tensiunea  $\tau$  din coardă provocată de forțe,

ES element sensibil de tip inductiv care oferă o tensiune electromotoare alternativă cu frecvența egală cu frecvența de vibrație. Schimbarea tensiunii mecanice în coardă duce la modificarea frecvenței de ieșire.  $\tau \approx f_{ies}$

CA circuit de adaptare, efectuează liniarizarea semnalului și face o conversie tensiune-frecvență (furnizează impulsuri la ieșire)

MT memorie tampon

DA dispozitiv de afișare

CFI convertor frecvență-curent, transformă trenul de impulsuri în curent care va fi semnalul de ieșire analogică și reacția cu care se comandă modificarea frecvenței sursei de alimentare la o nouă valoare de rezonanță

b) excitare prin oscilator comandat:

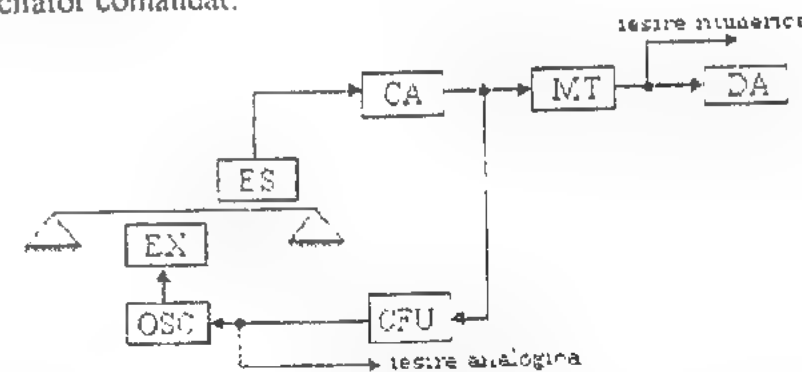


fig. 7.6.

Câmpul magnetic în care se pune coarda este produs de un excitator de tip electromagnet, alimentat de la un oscilator. Frecvența oscilatorului este reglat (comandat) prin tensiune.

Circuitele componente și funcționarea este asemănătoare cu varianta precedentă. Tensiunea de comandă a oscilatorului OSC este proporțională cu variația de frecvență a coardei la apariția unei tensiuni interne. Această tensiune este furnizată de convertorul frecvență-tensiune CFU care transformă trenul de impulsuri de la ieșirea CA în tensiune

Avantajele acestor tipuri de traductoare. precizie 0,1% prin stabilizarea frecvenței de rezonanță, histerază nulă, reproductibilitate bună, stabilitate în timp, insensibil la variații de temperatură, pot furniza la ieșire semnale numerice.

În industrie se folosește varianta cu magnet permanent deoarece au o robustețe mare și pot fi miniaturizate. Au un dezavantaj că nu se face o separare a semnalului u. de la ES de semnale parazite produse de curentul care parcurge coarda

### 3. Traductoare magnetostrictive

La realizarea acestor tipuri de traductoare se folosește de proprietatea de magnetostricțiune a unor materiale. Acesta constă în modificarea caracteristicilor magnetice materialului sub acțiunea forței externe. Se modifică înclinarea ciclului de histereză.

În funcție de direcția de modificare a proprietăților, deosebirii magnetostricțiune gativă, când curba de histereză se înclină mai mult sau mai puțin în funcție de tensitatea forței, respectiv magnetostricțiune pozitivă, când curba de histereză devine mai capătă la creșterea forței. În primul caz inducția remanentă  $B_r$  din material scade, iar în al doilea inducția remanentă crește. Materialele folosite la construcția unor astfel de aductoare sunt: nichel pur sau permalloy, un aliaj al nichelului cu fier.

Modificarea de pantă a ciclului de histereză și prin acesta modificarea inducției remanente se convertește în tensiune electromotoare cu traductoare generatoare, care vor furniza tensiuni proporționale cu modificarea de inducție remanentă. Se folosesc pentru măsurarea forțelor dinamice (variabile), deaceia pentru sesizarea modificării forței în ambele direcții, se face o premagnetizare a miezului magnetic

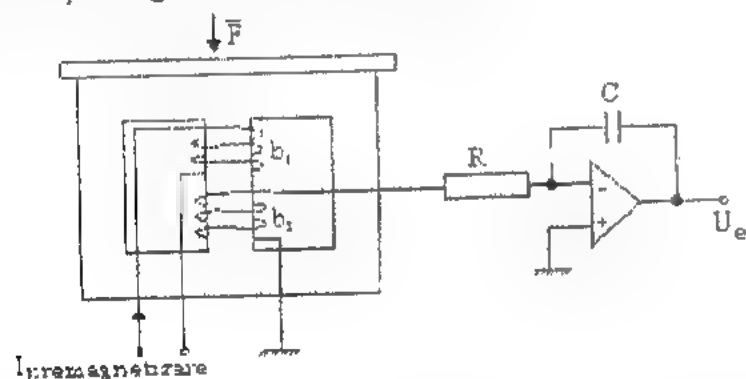


fig. 7.7.

Elementul sensibil este un circuit magnetic închis din material care prezintă proprietatea de magnetostricțiune, în care se modifică inducția remanentă datorită efortului. Pe acest circuit magnetic se dispun două bobine, unul ( $b_1$ ) este parcurs de curentul de premagnetizare  $I_{pr}$ , celălalt este bobina de sesizare ( $b_2$ ). La modificarea inducției remanente  $\Delta B_r$  apare în bobina  $b_2$  o tensiune electromotoare.

$$e = nc_m \frac{dB_r}{dt} \quad c_m \text{ este o constantă de material} \quad (7.10.)$$

Semnalul este preluat de un circuit integrator care dă la ieșire tensiunea

$$U_e = \frac{1}{RC} \int_{B_{r0}}^{B_r} e \cdot dt = \frac{1}{RC} \int_{B_{r0}}^{B_r} nc_m dB_r = \frac{nc_m}{RC} (B_r - B_{r0}) \quad (7.11.)$$

$$U_e = \frac{nc_m}{RC} c_B \tau \quad (7.12.)$$

În cazul forțelor de frecvență mare (vibrații) se folosesc elemente sensibile din terită, acestea pot avea formă de I sau II.

Un caz particular acestor traductoare este traductorul magnetoelastic, realizat din tole de fier moale și prinse prin care trec patru găuri și prin găuri două spire perpendiculare una pe alta. La variația efortului se modifică permeabilitatea  $\mu$  a materialului. Permeabilitatea scade pe direcția de aplicare a forței, fluxul crește în planul transversal forței

### 4. Traductoare piezoelectrice

Aceste traductoare folosesc fenomenul de piezoelectricitate, adică apariția unei polarizări pe suprafețele unui cristal când pe suprafețele perpendiculare acționează o forță. Proprietatea de piezoelectricitate o au materialele dielectrice. Se utilizează mai ales cristalul de cuarț. Cristalul prezintă o axă electrică, în direcția căreia apare polarizarea, o axă mecanică, după care trebuie să acționeze forța și o axă neutră, după care nu apare nici polarizare și nu este sesizată nici acțiunea forței.

Polarizarea se schimbă dacă se schimbă sensul forței. Se folosește pentru măsurarea forțelor dinamice, făcând o prepolarizare. Această stare va fi starea zero, față de care apar variațiile. Se pot măsura vibrații, variații de forțe cu o perioadă 0,1ms. Sunt traductoare generatoare, nu necesită surse de alimentare, doar o adaptare a impedanței. Traductorul prezintă o impedanță mare la ieșire.

### 5. Traductoare inductive

Aceste traductoare transformă variațiile de forță în variații de deplasare liniară. Elementul sensibil este inductiv care sesizează deplasările. Forța de măsurat este preluată de un element elastic de formă inelară, sau o diafragmă, sau de coloană. Pe acest element elastic se dispun două bobine pe același miez. La aplicarea forței de compresiune se schimbă poziția relativă a bobinelor și prin acesta se modifică reluctanța lor. Reluctanța primei bobine scade, reluctanța bobinei al doilea se mărește. Variația reluctanțelor este sesizată de un circuit de măsură tip punte pentru inductivități.

Se realizează și traductoare de cupluri pe bază de cuplare magnetică.

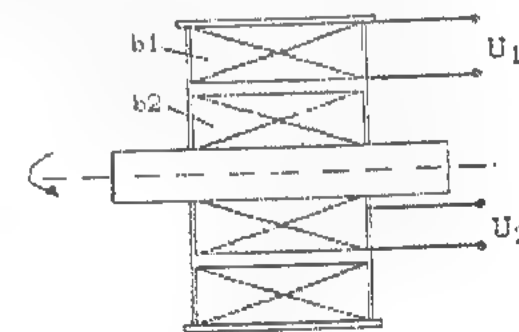


fig. 7.8.

Bobina  $b_1$  este fixă și parcursă de tensiunea  $U_1$ , producând fluxul  $\Phi_1$  care înălțuie bobina  $b_2$  care se rotește împreună cu axa. La apariția cuplului de rotație, poziția bobinelor se schimbă, se modifică fluxul care înălțuie bobina  $b_2$  datorită căruia se modifică tensiunea indusă  $U_2$  în aceasta.

### 6. Traductoare capacitive pentru forțe

Și în acest caz se transformă forța într-o deplasare, dar în acest caz deplasarea se sesizează prin modificarea de capacitate. Aceste traductoare sunt mai pretențioase, se folosesc în condiții speciale de lucru (presiune joasă, temperatură înaltă), sau în cazul căruia frecvența forței dinamice variază în limite largi.

Au o construcție specială. De obicei forța se transformă în mișcarea armăturilor, deci se modifică distanța dintre ele.

### 7. Traductoare cu discuri incrementale pentru cupluri

Ca construcție sunt asemănătoare cu traductoarele incrementale pentru deplasări unghiulare. Se folosesc două discuri dintre care una este fixă, de referință, iar celălalt disc este mobil, este solidar cu axa care se rotește.

Defazajul, rotația relativă dintre cele două discuri este proporțională cu cuplul aplicat. Se pot folosi discuri codate numeric sau incremental. Dispozitivul de citire poate fi optic sau magnetic.

## TRADUCTOARE DE VIBRAȚII ȘI ACCELERAȚII

Vibrațiile sunt fenomene dinamice, care iau naștere în medii elastice, în urma unei excitații locale și care se propagă în interiorul mediului sub forma unor oscilații. Mediul trebuie să fie suficient de mare, ca să putem vorbi despre o excitație locală, respectiv ca acesta să se propage prin oscilații.

### Clasificarea oscilațiilor:

1. În funcție de dinamica fenomenului: -vibrații cu frecvență scăzută  
-vibrații cu frecvență ridicată
2. Mediile în care propagă oscilațiile pot fi  
-medii solide - se propagă unde longitudinale și transversale  
-medii fluide - se propagă numai unde longitudinale
3. După natura oscilației pot fi: -vibrații nedorite - perturbații  
-vibrații dorite cu parametri bine determinate

Pentru punerea în evidență a vibrațiilor și a efectelor provocate, se va măsura  
-vibrații la ieșirea dintr-un sistem, pentru a compara vibrațiile cu valori maxime admisibile. Este cazul perturbațiilor, zgomotelor și măsurările se fac în vederea reducerii vibrațiilor (amplitudine sau frecvență)

-vibrații la intrarea într-un sistem, cazul vibrațiilor dorite, pentru a menține aceste vibrații la parametri dorite.

-vibrații atât la intrare cât și la ieșirea dintr-un sistem, pentru a caracteriza comportarea sistemului.

În echipamentele industriale de obicei se măsoară vibrații care se propagă în medii solide și care se măsoară cu traductoare pentru mărimi cinematice (deplasare, viteză, accelerație). În aceste medii oscilațiile pot fi:

- cu una sau două grade de libertate (fig.8.1a și fig.8.1b)
- oscilații de translație vertical (fig.8.1c), orizontal (fig.8.1d), de torsiune (fig.8.1e) și de încovoire (fig.8.1f).
- oscilații libere sau întreținute
- oscilații amortizate sau neamortizate
- oscilații deterministe sau nedeterministe.

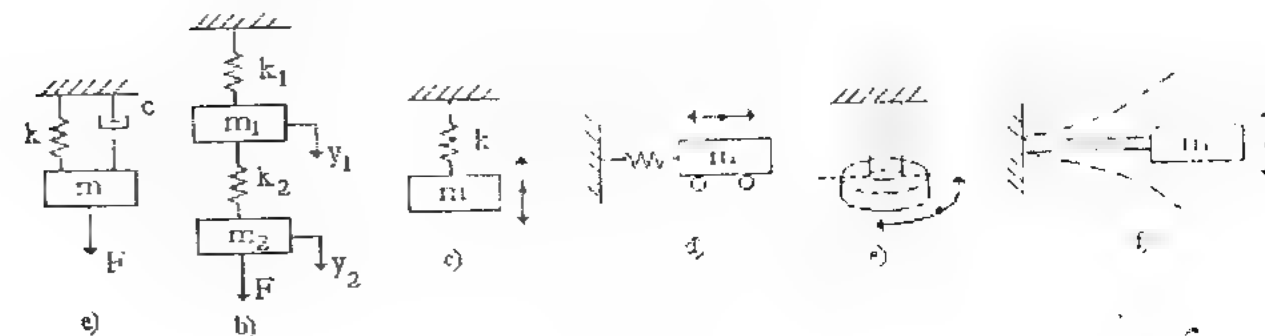


fig. 8.1

### Mărimi caracteristice vibrațiilor

Indiferent de natura vibrațiilor, ele se caracterizează prin: deplasare liniară sau unghiulară, viteză, accelerație și frecvență. Dacă un corp execută o vibrație sub acțiunea forței  $F(t)$  ecuația de mișcare se scrie:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = F(t) \quad \text{ptr. mișcare de translație} \quad (8.1.)$$

$$J \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + c \frac{d\varphi}{dt} + k\varphi = F(t) \quad \text{ptr. mișcare de torsiune} \quad (8.2.)$$

unde:  $m$ -masa[kg],  $c$ -coeficient de amortizare[Ns/m],[Nsm],  $J$ -moment de inerție[kgm<sup>2</sup>],  $k$ -constantă elastică[N/m],[Nm],  $x$ -deplasare liniară,  $\varphi$ -deplasare unghiulară,  $dx/dt$  și  $d\varphi/dt$ -viteză[m/s],[grad/s],  $\frac{d^2 x}{dt^2}$ ,  $\frac{d^2 \varphi}{dt^2}$ - accelerație[m/s<sup>2</sup>],[grad/s<sup>2</sup>].

În cazul unor vibrații sinusoidale aceste mărimi devin:

$$x = X_r \sin \omega t = X_r \sin(2\pi f t)$$

$$x' = \frac{dx}{dt} = \omega X_r \cos \omega t = \omega X_r \sin\left(2\pi f t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$x'' = \frac{d^2 x}{dt^2} = -\omega^2 X_r \sin \omega t = \omega^2 X_r \sin(2\pi f t + \pi) \quad (8.3.)$$

În realitate aceste mărimi sunt mai complexe legea de variație nu este sinusoidală. Se face o înregistrare a vibrației, se descompune în componente care deja sunt sinusoidale, se face o analiză spectrală, adică se determină amplitudinea și frecvența componentelor, și pe baza acestora se va determina natura vibrației. În funcție de scopul urmărit se măsoară: valoarea instantanee, valoarea medie, valoarea de vârf, respectiv valoarea efectivă.

Amplitudinea vibrațiilor ne informează despre jocul dintre piese.

Accelerația vibrației ne informează despre intensitatea forțelor care acționează

Viteza vibrației ne informează despre zgomotul produs de mediu și cauza vibrației.

Schema generală a unui traductor de vibrație:

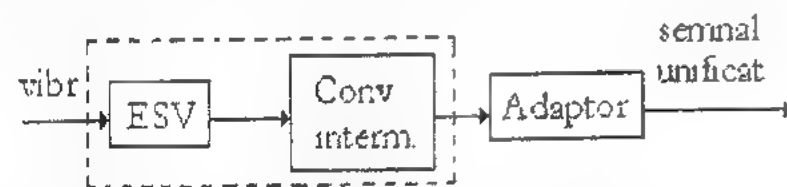


fig. 8.2.

ESV - Se compune dintr-un senzor de vibrație și un convertor intermediar, care transformă vibrația într-o mărime mecanică, astfel furnizează la ieșire o mărime mecanică, deplasare sau forță

CI - convertorul intermediar transformă mărimea neelectrică într-o mărime electrică, tensiune sau curent. Convertoarele intermediare pot fi generatoare sau parametrice.

### Elementul sensibil

Pentru vibrații liniare elementul sensibil este de tip inerțial cu masă seismică. Vibrația este caracteristic corpurilor în mișcare, deci elementul sensibil lucrează în regim dinamic

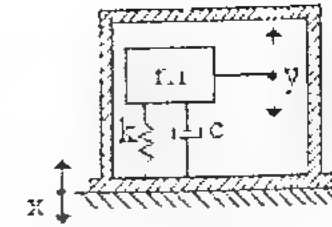


fig. 8.3.

Dacă corpul vibrează și efectuează o deplasare  $x(t)$ , carcasa traductorului precum mișcarea și masa  $m$  din interior va avea mișcarea  $y(t)$ . Toate acestea sub acțiunea forței  $F(t)$ . Ecuația de mișcare se poate scrie:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + c \frac{dy}{dt} + ky = F \cdot a = -m \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (8.4.)$$

După rezolvarea ecuației avem trei cazuri:

a)  $m$ - mare,  $k, c$ - neglijabile (amortizare mică, resort slab)

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} \approx -m \frac{d^2 x}{dt^2} \Rightarrow y \approx -x \quad (8.5.)$$

Masa  $m$  are o mișcare asemănătoare corpului, dar este în opoziție de fază, se folosește pentru măsurarea deplasărilor.

b)  $c$ - mare,  $m, k$ - neglijabile (masă redusă, resort slab)

$$c \frac{dy}{dt} \approx -m \frac{d^2 x}{dt^2} \Rightarrow y \approx -\frac{m}{c} \frac{dx}{dt} \quad (8.6.)$$

Mișcarea masei  $m$  este proporțională cu viteza vibrației. Se folosește pentru măsurarea vitezei.

c)  $k$ - mare,  $m, c$ - neglijabile (masă redusă, amortizare slabă)

$$ky \approx -m \frac{d^2 x}{dt^2} \Rightarrow y \approx -\frac{m}{k} \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (8.7.)$$

Mărimea furnizată la ieșirea traductorului este proporțională cu accelerația

Analiza vibrației se poate face nu numai în domeniul timpului, dar și în domeniul frecvenței. Pentru caracterizarea sistemului în domeniul frecvenței se aplică transformata Laplace ecuației de mișcare și se obține:

$$s^2 Y(s) + \frac{c}{m} s Y(s) + \frac{k}{m} Y(s) = -s^2 X(s) \quad (8.8.)$$

Funcția de transfer are forma:

$$H(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{-s^2}{s^2 - 2\xi\omega_0 s + \omega_0^2} \quad (8.9.)$$

unde  $\omega_0 = \sqrt{k/m}$  are semnificația de pulsație proprie a sistemului.

$\xi = \frac{c}{2\sqrt{km}}$  este factorul de amortizare a sistemului.

Dacă excitația este sinusoidală, adică  $x(t) = X \sin \omega t$ .

$$H(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = \frac{\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + 2\xi \cdot j \frac{\omega}{\omega_0}} = \frac{\lambda^2}{1 - \lambda^2 + 2\xi \cdot j\lambda} \quad (8.10.)$$



Determinarea comportării sistemului înseamnă studiul variației modulului și argumentului funcției de transfer. Modulul funcției de transfer are expresia.

$$H(\lambda) = \frac{\lambda^2}{\sqrt{4\xi^2\lambda^2 + (1-\lambda^2)^2}} \quad (8.11.)$$

Argumentul funcției de transfer are expresia.

$$\theta(\lambda) = \arctg \frac{2\xi \cdot \lambda}{1-\lambda^2} \quad (8.12.)$$

Forma de variație a acestora în funcție de  $\lambda = \frac{\omega}{\omega_0}$  este reprezentată pe fig. 8.4a și 8.4b.

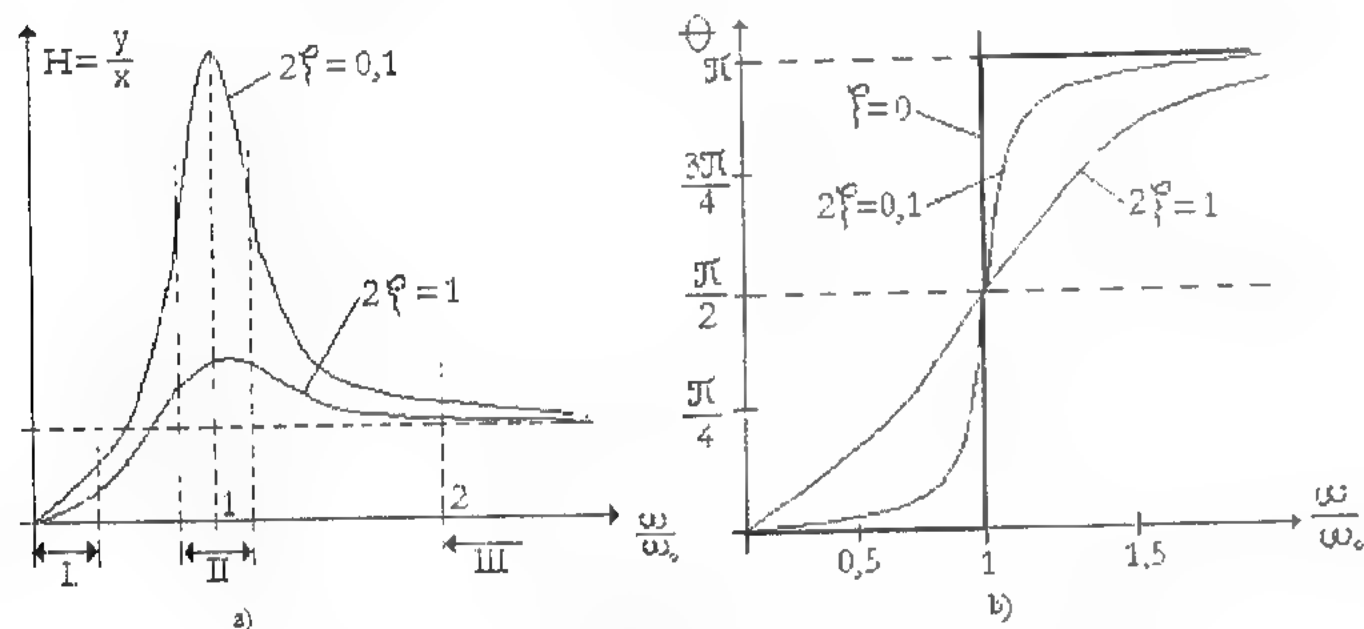


fig. 8.4.

Analizând caracteristicile se observă că sunt trei zone de lucru posibile:

- \*zona III -  $\omega > \omega_0 \Rightarrow X \approx Y$  și  $\theta = 180^\circ$  obiectul și masa  $m$  vibrează în opoziție de fază. Instrumentul se folosește ca *vibrometru*.
- \*zona II -  $\omega \approx \omega_0 \Rightarrow$  se măsoară *frecvența*.
- \*zona I -  $\omega < \omega_0 \Rightarrow Y \approx d^2x/dt^2$  instrumentul se folosește ca *accelerometru*.

În practică vibrațiile sunt foarte complexe, comportarea elementului sensibil este diferit pentru diferite componente spectrale ale vibrației, cauză din care apar distorsiuni ale semnalului de ieșire. Pentru ca distorsiunile să fie cât mai minime (să nu depășească limitele admisibile) se determină zone de lucru pentru elementul sensibil, astfel pentru vibrometru se definește o frecvență limită inferioară, pentru accelerometru o frecvență limită superioară.

#### Convertoare intermediare

Convertoarele intermediare sunt de două tipuri, parametrice și generatoare.

Convertoarele intermediare parametrice sunt rezistive, capacitive, inductive și piezorezistive. Cele rezistive folosesc mărci tensorezistive (TER), care se lipesc pe un element elastic supus vibrațiilor. Rezistența își modifică valoarea corespunzător amplitudinii sau frecvenței vibrației (fig. 8.5a). Convertoarele intermediare capacitive se folosesc pentru măsurări relative. Funcționarea lor se bazează pe deplasarea unei armături a condensatorului, modificând astfel capacitatea. Adaptorul legat la ieșirea acestui condensator măsoară variațiile de capacitate (fig. 8.5b). Convertoarele intermediare

inductive se bazează pe modificarea inductivității unei bobine, prin deplasarea unui miez mobil în interiorul bobinei (fig. 8.5c), sau prin modificarea întrefierului circuitului magnetic (fig. 8.5d).

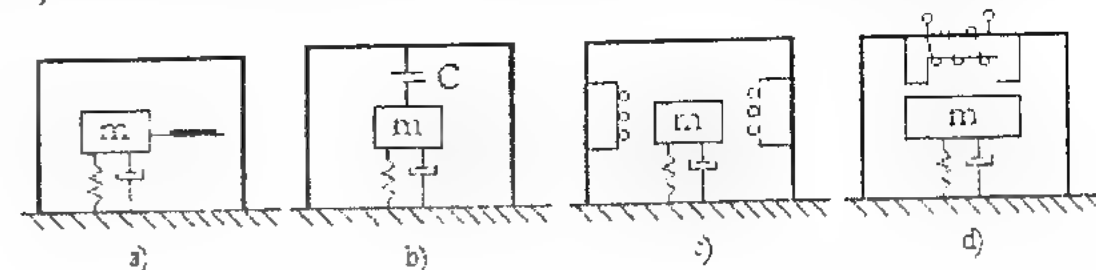


fig. 8.5.

Convertoarele intermediare piezorezistive folosesc materiale piezorezistive pretensionate, rezistența electrică a acestor materiale depinde de tensiunile interne, care vor fi mai mici sau mai mari față de valoarea inițială fixat prin pretensionare, în funcție de vibrații.

Convertoarele intermediare generatoare pot folosi fenomenul de inducție electromagnetică, sau fenomenul piezoelectric. Convertoarele intermediare electromagnetice au în componența lor o bobină fixă și un magnet permanent cu liniile de câmp magnetic perpendicular pe bobină, și care se mișcă sub acțiunea vibrației (fig. 8.6). Datorită mișcării relative a bobinei față de magnetul permanent, se va induce în bobină o tensiune electromotoare, care are o amplitudine suficientă și poate fi folosită fără amplificări ulterioare.

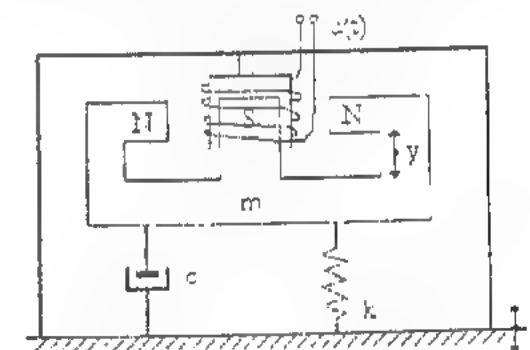


fig. 8.6.

Convertoarele piezoelectrice folosesc materiale piezoelectrice, acestea au proprietatea că prezintă fenomenul de polarizare pe suprafața cristalului, când apare o forță  $F$  care acționează perpendicular sau paralel pe direcția polarizării. Sensul polarizării (sensul tensiunii) depinde de sensul forței și de direcția lui față de axa electrică. Pentru cristalul tăiat și folosit pentru sesizarea vibrației se definesc trei axe:  $ox$  - axa electrică, direcția în care apare polarizarea pe suprafața cristalului (suprafața hașurată),  $oy$  - axa mecanică, direcția forței,  $oz$  - axa neutră, direcție în care nu apare tensiune, respectiv cristalul nu sesizează forța din această direcție (fig. 8.7a).

Pe figura 8.7b forța acționează paralel cu axa  $ox$ , se numește efect piezoelectric longitudinal, sarcina care apare pe suprafețele opuse ale cristalului, este proporțională cu forța  $Q_x = dF_x$ . Pe figura 8.7c forța acționează perpendicular pe axa  $ox$ , se numește efect piezoelectric transversal  $Q_y = dF_x b/h$ .

Efectul piezoelectric se evaluează prin diferite coeficienți:

- coeficient piezoelectric fundamental  $d$  - determină cantitatea de sarcină care apare pe unitatea de forță sau presiune. Depinde de direcția de aplicare a forței. Unitatea de măsură este  $[C/N]$ .

coeficientul  $g$  se folosește pentru determinarea tensiunii de ieșire

$$g = \frac{d}{\epsilon \epsilon_0} \quad [\text{V/Nm}] \quad (8.13.)$$

coeficientul  $h$  – este defapt înălțimea cristalului și este egal cu produsul între coeficientul  $g$  și modulul de elasticitate Young. Unitatea de măsură este  $[\text{V/m}]$   
coeficientul de cuplare  $k$  – este proporțional cu raportul dintre energia mecanică acumulată și energia electrică absorbită.

$$k = \sqrt{h \cdot d} \quad [\%] \quad (8.14.)$$

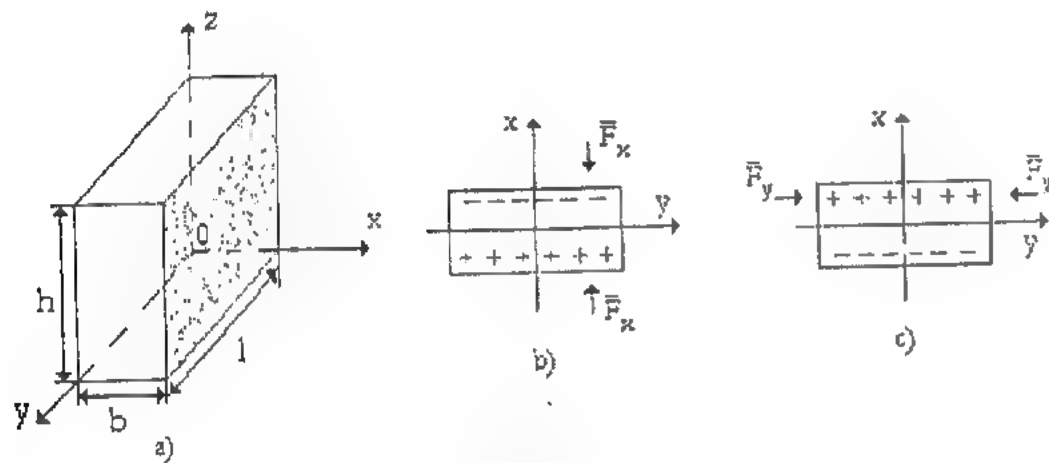


fig. 8.7.

Materiale care prezintă proprietatea de piezoelectricitate sunt cristalul de cuarț, titanat de bariu, zirconat-titanat de plumb. Sensibilitate acestor cristale scade cu creșterea temperaturii.

Făcând o analogie între mărimile mecanice și electrice se poate construi o schemă analogică electrică pentru un cristal de cuarț. Se scriu identitățile:

puterea:  $P = \frac{F \cdot x}{t} = \frac{m \cdot x^2}{t^2} \quad (8.15.)$

$$P = u \cdot i \quad (8.16.)$$

de aici rezultă:  $\frac{F \cdot x}{t} = u \cdot i \quad (8.17.)$

se pot scrie egalitățile:  $i \cdot n = \frac{x}{t} = v \quad (8.18.)$

$$\frac{u}{n} = F \quad n \text{ este factor de conversie}$$

Analogiile vor fi:

- masă ( $m$ ) ↔ inductivitate ( $L$ )
- resort ( $k$ ) ↔ capacitate ( $C$ )
- amortizare ↔ rezistență ( $R$ )
- forță ( $F$ ) ↔ tensiune electrică ( $u$ )
- viteză ( $v$ ) ↔ curent electric ( $i$ )
- deplasare ( $x$ ) ↔ sarcină electrică ( $q$ ).

Schema electrică echivalentă a cristalului de cuarț se prezintă pe figura 8.8, unde  $R_i = 10^9 \Omega$  este rezistența internă a cristalului, iar  $L_i$  se manifestă la frecvențe mari

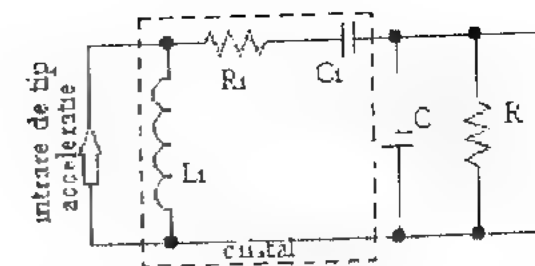


fig. 8.8.

În schemele electrice cristalul poate fi considerat ca generator de sarcină sau generator de tensiune (fig.8.9).

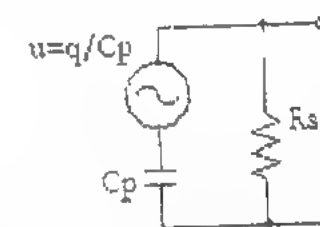


fig. 8.9

Schema constructivă pentru un traductor piezoelectric.

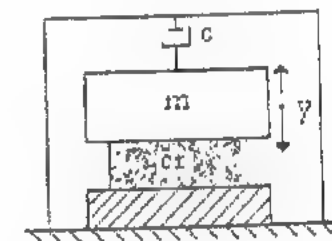


fig. 8.10.

Din cristalul piezoelectric se fac rondelle care se assemblează astfel ca să sesizeze ambele direcții de deplasare (vibrații), printr-o pretensionare. Mișcarea masei  $m$  duce la apariția unei forțe de presiune mai mari sau mai mici asupra cristalului de cuarț, datorită căruia apar sarcini de polarizație și o tensiune electrică.

Domeniul de frecvență a vibrației care se poate măsura depinde de frecvența de rezonanță a traductorului și de masa  $m$ , respectiv de rigiditatea obiectului al cărui vibrație se măsoară. Domeniul util de frecvență este  $f=0,3f_0$ .

Creșterea temperaturii duce la depolarizare, scădere, pierdere din tensiunea furnizată. Totodată scade și sensibilitatea. Aceste traductoare au o construcție robustă, rigidă și foarte etanș deoarece se pot folosi în medii umede sau corozive.

### Adaptoare pentru traductoare de vibrații

Adaptoarele folosite, respectiv circuitele de prelucrare a semnalului furnizat depinde de structura și tipul convertorului intermediar utilizat.

În cazul convertoarelor intermediare parametrice (rezistive, inductive sau capacitive) schema de măsurare este de tipul unei punți de măsură. Puntea poate fi punte Wheatstone pentru CI rezistiv, punte Wien sau Maxwell pentru CI inductiv. Tensiunea de dezechilibru care este proporțională cu vibrația se amplifică și se prelucrează. De exemplu, masa seismică se mișcă între două bobine având inițial inductivități egale. La mișcarea masei seismice, realizat din material feromagnetic se modifică inductivitatea bobinelor în sens invers. Cele două bobine se montează diferențial într-o punte, schema fiind compusă din: amplificator, demodulator, filtru, circuit de linarizare și dacă se face o prelucrare numerică a semnalului schema conține și un CAD.

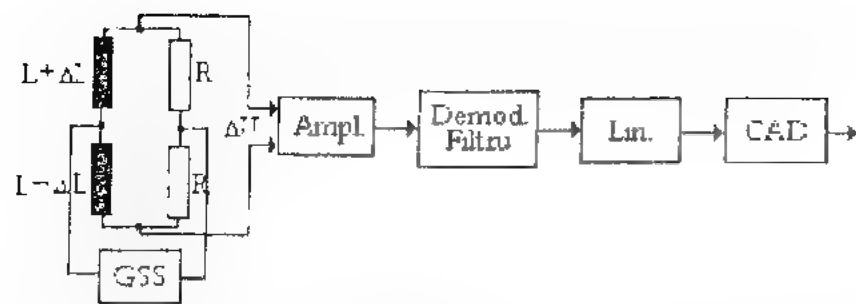


fig. 8.11.

În cazul convertoarelor intermediare generatoare schema bloc al adaptorului este:

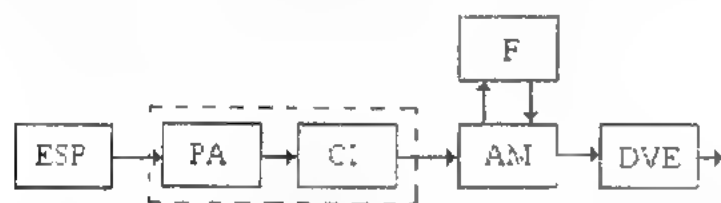


fig. 8.12

unde: ESP ansamblu element sensibil și convertor intermediar

PA preamplificator cu impedanță mare la intrare

CI circuit integrator pentru a obține un semnal proporțional cu viteza sau deplasarea

AM amplificator de măsurare

F filtre pentru selectarea anumitor domenii de frecvență

DVE detector de valoare efectivă

Partea cea mai importantă a schemei este preamplificatorul PA care face o adaptare a impedanței și depinde de tipul schemei echivalente utilizate pentru cuarț, adică se sesizează variații de tensiune sau variații de sarcină.

Folosind schema echivalentă corespunzătoare pentru generator de tensiune.

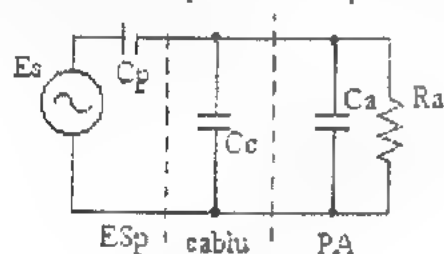


fig. 8.13.

$E_s$  și  $C_p$  sunt mărimi caracteristice cristalului

$C_c$  reprezintă capacitatea cablurilor de legătură

$C_A$  și  $R_A$  caracterizează preamplificatorul, care trebuie să aibă impedanță mare pentru a nu influența caracteristicile elementului sensibil de natură reactivă.  $R_A$  formează cu capacitatea totală ( $C_p$ ,  $C_c$  și  $C_A$ ) un filtru trece sus cu constanta de timp  $T=R_A(C_p+C_c+C_A)$ . Se poate folosi pentru măsurarea vibrațiilor cu frecvențe mai mari ca  $f_0=1/T$ .

Folosind schema echivalentă corespunzătoare pentru generator de sarcină (fig. 8.14) preamplificatorul este un amplificator de sarcină care convertește variația de sarcină în variații de tensiune. Preia sarcina furnizată de traductor și dă la ieșire o tensiune proporțională cu  $Q$ .

$$U = \frac{Q}{C_r} \quad C_r = \text{constant} \quad (8.18)$$

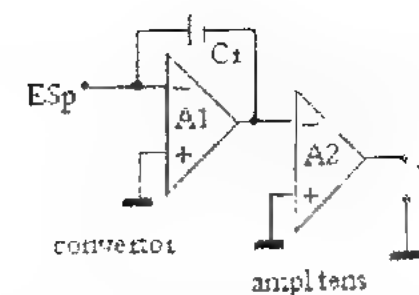


fig. 8.14

Reacția capacitivă duce la o capacitate de intrare mare, față de care modificarea capacității dată de cabluri este foarte mic. Schema prezintă avantajul că prin elementele din reacția amplificatorului se poate regla sensibilitatea la frecvențe joase.

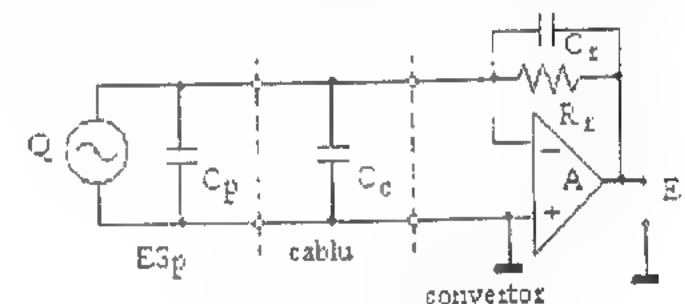


fig. 8.15.

Dacă  $C_r \gg \frac{C_f + C_c}{1+A}$  sistemul se comportă ca un element de întârziere de ordinul 1

Pulsajia de tăiere este  $\omega = \frac{1}{R_f \cdot C_f}$

Pentru obținerea unor semnale proporționale cu viteza sau deplasarea se folosesc rețele de integrare cu elemente active și/sau pasive încorporate în PA.

Pentru alegerea domeniului de frecvență se folosesc filtre, iar pentru calculul valorii efective a vibrației se folosesc detectoare de valori efective.

Sistemele de măsurare (fig. 8.16) a vibrației sunt foarte complexe, ele fac o analiză atât în domeniul timpului cât și în domeniul frecvenței, pentru a putea determina sursa de vibrație, efectele ei, frecvența și amplitudinea componentei celei mai importante, respectiv pentru determinarea caracteristicilor vibrației.

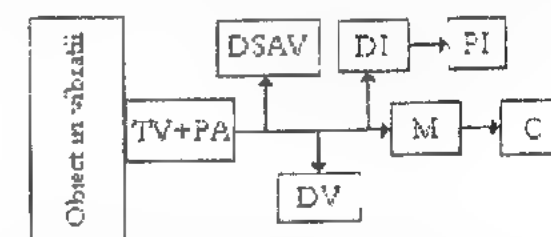


fig. 8.16

unde TV+PA traductor de vibrații (care înglobează elementul sensibil și convertorul intermediar) și preamplificator (care înglobează și schema de măsură)

DSAV dispozitiv special de analiză a vibrației care face o analiză în domeniul timpului și frecvenței

DI dispozitiv de înregistrare

PI prelucrarea informației

M memorie legat de calculator

C calculator care prelucrează informația în timp real, sau rezultatele testării

DV dispozitiv de vizualizare.

## Capitolul 9.

### TRADUCTOARE DE VITEZĂ

Corpurile se pot mișca de-a lungul unei drepte, execută mișcare de translație, sau pot efectua o mișcare de rotație. Corespunzător celor două mișcări se definește o viteză liniară, respectiv o viteză unghiulară.

$$v(t) = \frac{dx}{dt} \quad [\text{m/s}] \quad ; \quad \omega(t) = \frac{d\varphi}{dt} \quad [\text{rad/s}] \quad (9.1.)$$

În ambele cazuri, considerând că mișcarea este uniformă, deci viteza este constantă. După definiție viteza este un vector, deci are modul, direcție și sens. La măsurarea vitezelor se determină modulul vitezei și eventual sensul, care poate fi pozitiv sau negativ față de un sens de referință. În practică în locul vitezei unghiulare se folosește denumirea de turație sau viteză de rotație cu unitatea de măsură [rot/s]

#### Metode folosite în măsurarea vitezei

Principiile care stau la baza măsurării vitezelor se clasifică în:

- principii care derivă din relațiile de definiție a vitezei: se măsoară distanța într-un anumit interval de timp.
- principii care derivă din consecințele unor legi fizice, cum sunt: legea inducției, sau efectul Doppler.

1. Măsurarea distanței. Pe traiectoria corpului se marchează repere la distanțe egale și relativ mic între ele  $\Delta x$ . Se consideră un interval de timp  $T_0$  suficient de mare ca corpul în mișcare să treacă în dreptul mai multor repere, distanța parcursă, respectiv viteza va fi:

$$x = i \Delta x \quad v = \frac{i \cdot \Delta x}{T_0} = K_x \cdot i \quad \text{unde} \quad K_x = \frac{\Delta x}{T_0} = ct \quad (9.2.)$$

$$\varphi = i \cdot \Delta \varphi \quad \omega = \frac{i \cdot \Delta \varphi}{T_0} = K_\varphi \cdot i \quad \text{unde} \quad K_\varphi = \frac{\Delta \varphi}{T_0} = ct \quad (9.2a.)$$

Din relațiile de mai sus trebuie determinat  $i$ , numărul reperelor în dreptul cărora a trecut corpul în mișcare.

2. Cronometrarea timpului. Se măsoară timpul de parcurgere a unei distanțe date, fixe. Pe traiectoria corpului se marchează două repere la distanță  $L_0$  cunoscut, și se măsoară timpul  $\Delta t$  în care corpul în mișcare parcurge această distanță.

$$v = \frac{L_0}{\Delta t} \quad \omega = \frac{\varphi_0}{\Delta t} \quad (9.3.)$$

unde  $\varphi_0$  este unghiul la centru determinat de două repere, corpul parcurge arcul dintre cele două repere

3. Legea inducției electromagnetice. Tensiunea electromotoare indusă într-un conductor închis  $\Gamma$  nedeformabilă este egală și de semn contrar cu viteza de variație în timp a fluxului magnetic, care trece printr-o suprafață  $S_\Gamma$  care se sprijină pe curba  $\Gamma$ .

$$e_\Gamma(t) = -\frac{d\Phi_{S_\Gamma}(t)}{dt} = -\frac{d}{dt} \int_{S_\Gamma} \vec{B} d\vec{A} \quad (9.4.)$$

Dacă se consideră o bobină cu  $N$  spire  $\Phi_{\text{tot}} = N\Phi_e$ , tensiunea indusă este:

$$e_\Gamma(t) = -N \frac{d\Phi_e}{dt} \quad (9.5.)$$

Dacă  $\Phi_e$  este dependent de deplasarea bobinei față de o poziție de referință, atunci tensiunea electromotoare va fi o funcție de viteza de deplasare

Traductoarele de turație sunt mai ușor realizabile, deoarece traductoarele de viteză liniară se obțin din acesta folosind relația  $v = \omega r$ , unde  $r$  este raza discului în mișcare de rotație, iar  $\omega = 2\pi f$  și frecvența  $f = n/60$   $n$  fiind turația.

În industrie se folosesc mai mult traductoarele de turație, excepție fiind cazurile transportoarelor, laminoarelor unde se măsoară viteza liniară direct sau se transformă într-o mișcare de rotație.

#### Traductoare de turație

Aceste traductoare convertesc turația în semnal electric pe baza principiilor prezentate mai sus.

Sunt de două tipuri: cu elemente sensibile generatoare, semnalul de ieșire este o tensiune electrică obținută pe baza legii de inducție. Puterea necesară obținerii tensiunii electrice este preluat integral de la arborele motorului, nu necesită surse auxiliare. În această categorie aparțin tahogeneratoarele de c.c. și c.a.

Cealaltă categorie a traductoarelor sunt cele cu elemente sensibile parametrice, în funcție de turație se modifică un parametru al circuitului electric ( $R, L, C$ ) care modulează o tensiune furnizată de o sursă auxiliară. Cel mai frecvent se utilizează traductoarele cu elemente sensibile fotoelectrice și inductive. aceste traductoare furnizează semnale cu variații periodice, măsurarea constă în măsurarea frecvenței acestor variații. Sunt ușor de realizat, pot furniza ieșire numerică.

Adaptoarele folosite pentru aceste traductoare depind foarte mult de tipul elementului sensibil, precum și de forma și nivelul semnalului de ieșire. Adaptoarele pot conține numai filtre, sau numărătoare, blocuri de amplificare, redresare

#### 1. Tahogeneratoare de c.c.

Ca construcție seamănă cu mașini electrice, construite pe principiul generatoarelor de c.c. Furnizează o tensiune continuă, puțin ondulatorie, nivelul și puterea acestei tensiuni permit folosirea lor directă fără amplificare sau altă prelucrare a semnalului

După modul de excitație pot fi cu magneti permanenți (fig. 9.2a) sau cu excitație separată

Rotorul poate fi de formă cilindrică, pahar (fig. 9.2b și c) sau disc. Caracteristicile tehnico-funcționale după care se face alegerea tahogeneratoarelor

- tensiunea electromotoare  $K$  la 1000 rot/min se dă în  $V/(1000 \text{ rot/min})$
- rezistența internă  $R_A$  necesar dimensionării rezistenței de sarcină,  $R_A$  trebuie să fie mult mai mic ca rezistența de sarcină.

- curent nominal  $I_N$  necesar pentru dimensionarea lui  $R_s$
- ondulația maximă  $B$ , care nu trebuie să depășească 3% din valoarea nominală  $U_n$ . Ondulațiile sunt cu atât mai mici, cu cât sunt mai multe lamele de colector, dar un număr mare de lamele duce la creșterea gabaritului.

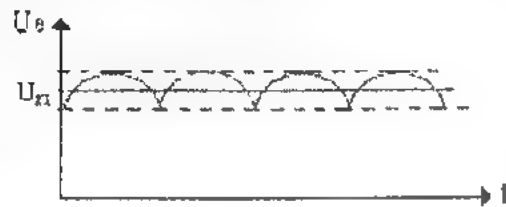


fig. 9.1.

- eroarea datorată variației de temperatură în  $V/^\circ C$
- eroarea maximă de neliniaritate

$$\varepsilon_n = \frac{E_M - E_C}{E_C} \cdot 100 [\%] \quad (9.6.)$$

unde  $E_M$  este tensiunea măsurată la turația  $n$ ,

$$E_C = K \frac{n}{1000}$$

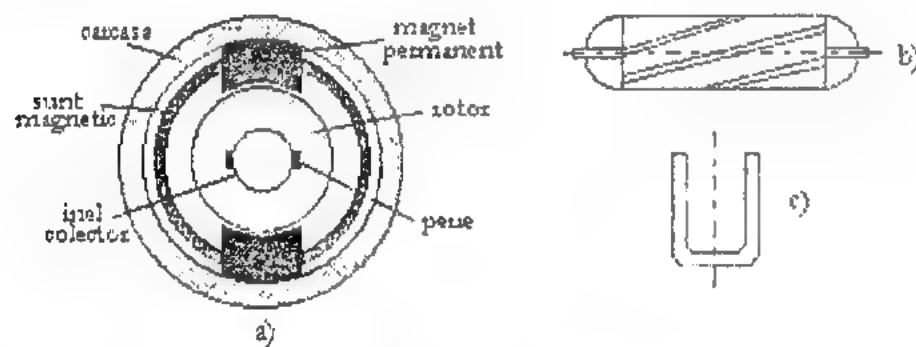


fig. 9.2.

Domeniul de utilizare este între 50-5000 rot/min. Pot fi folosite și în acționări reversibile. caracteristica statică de mers în gol este:

$$E_0 = K_{TG} \cdot n \quad (9.7.)$$

unde  $K_{TG}$  depinde de numărul de perechi de poli, de flux magnetic, de numărul conductoarelor,  $K_{TG} = 1-10 \text{ mV/rot/min}$ . La mers în sarcină tensiunea la borne este:

$$U_e = E_0 - K_p I - R_A I - \Delta U_p \quad (9.8.)$$

relație în care primul termen reprezintă reacția indusului, a doua căderea de tensiune pe bobina tahogeneratorului,  $R_A$  fiind rezistența înfășurării rotorice,  $I$  este curentul rotoric și  $n$  este turația, iar ultimul termen reprezintă căderea de tensiune pe perii.

## 2. Tahogeneratoare de c.a.

Aceste traductoare pot fi de două tipuri sincrone sau asincrone. Tahogeneratoare de c.a. sincrone sunt alcătuite din stator, realizat din tole de oțel electrotehnic, bobinat, și un rotor realizat din magneți permanenți, având mai multe perechi de poli. Furnizează o tensiune sinusoidală al cărei valoare efectivă și frecvență depinde de turație. Domeniul de turație la care se folosesc este cuprinsă între 100 și 5000 rot/min.

Tensiunea electromotoare indusă are expresia:

$$e(t) = \frac{2\pi n}{60} w K_w \Phi_m \sin\left(\frac{2\pi}{60} nt\right) \quad (9.9)$$

unde  $n$  este turația,  $w$  este numărul de spire,  $K_w$  este o constantă care depinde de felul înfășurării,  $\Phi_m$  este fluxul magnetic maxim. Deoarece frecvența este proporțională cu turația, iar rezistența de sarcină  $R_s$  poate influența valoarea efectivă a tensiunii, pentru conversia frecvenței se folosește relația  $f = n/60$ .

Caracteristicile tehnico-funcționale sunt asemănătoare cu cele ale tahogeneratoarelor de c.c.

- valoarea tensiunii electromotoare furnizate la 1000 rot/min
- turația maximă
- curent nominal  $I_N$
- rezistența înfășurării statorice

Adaptoarele folosite sunt simple, conținând de multe ori un redresor și un filtru

## 3. Traductor de turație de reluctanță variabilă

Elementul sensibil este compus dintr-o bobină înfășurată pe un miez magnetic din magnet permanent și un disc din material feromagnetic.

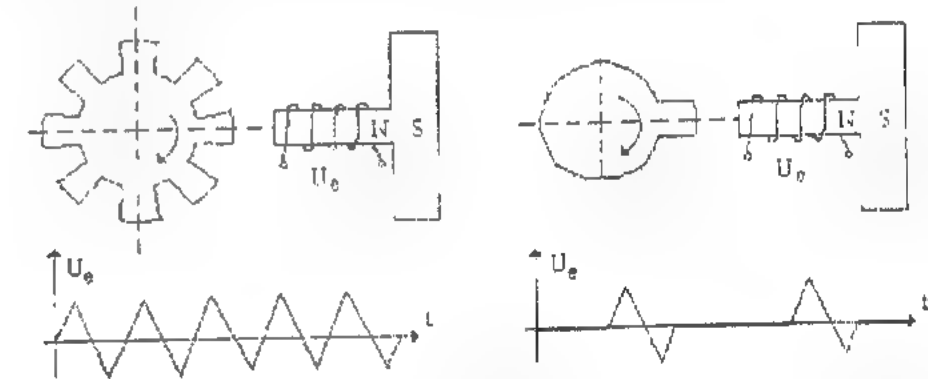


fig. 9.3.

Discul cu unu sau mai multe proeminențe (fig. 9.3) sau fante (fig. 9.4) se rotește împreună cu axul motorului. bobina cu miezul de fier formează un circuit magnetic al cărei reluctanță este minimă când întâlnește o proeminență, respectiv este maximă când vede un gol. Variația de reluctanță duce la variația fluxului magnetic. Conform legii inducției se induce în bobină impulsuri de tensiune al cărui număr este egal cu numărul de dinți pe o rotație.

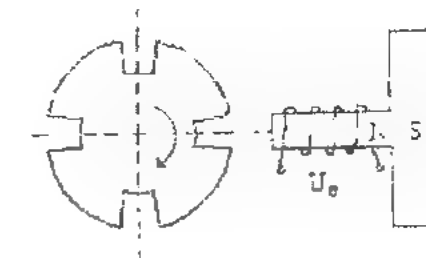


fig. 9.4

Frecvența impulsurilor va fi  $f = n/z$ .

Nu pot fi folosite la turații joase deoarece variația fluxului magnetic nu este suficient de mare pentru a induce impulsuri de tensiune. Acest fenomen se poate evita prin mărirea numărului de dinți, dar acesta duce la creșterea circumferinței discului și prin acesta se mărește inerția acestuia.



Schema bloc și diagrama de funcționare.

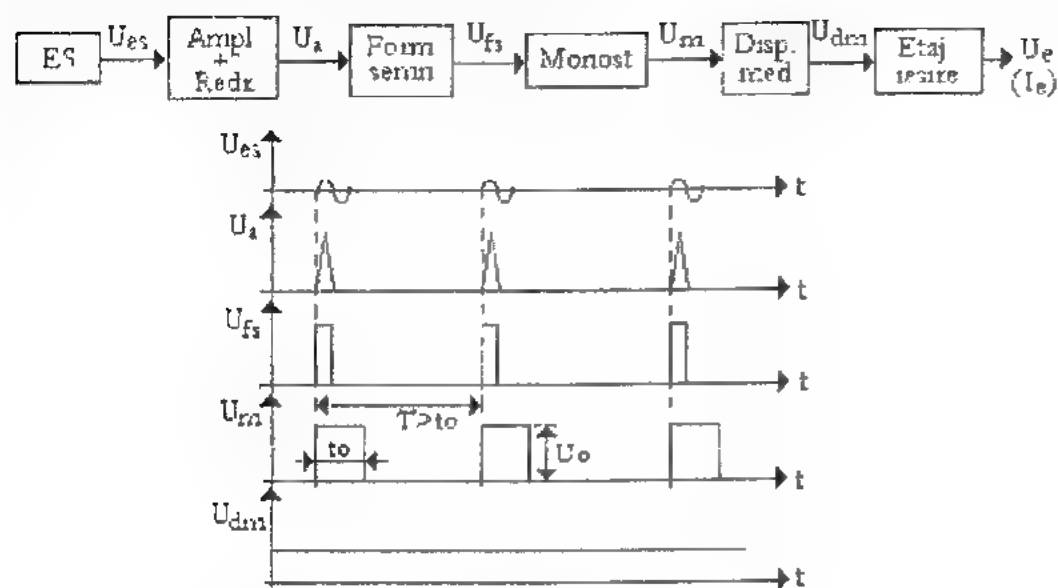


fig. 9.5.

Tensiunea de ieșire din dispozitivul de mediere este:

$$U_{dm} = \frac{1}{T} \int_0^T U_m(t) dt = \frac{1}{T} U_m t_0 = U_m t_0 f = U_m t_0 \frac{n}{60} = k \cdot n \quad (9.9.)$$

Domeniul de turație în care se folosește este cuprinsă între 100 și 300 mii rot/min. Elementul sensibil poate fi conectat și la un adaptor numeric, mărind astfel precizia și scăzând timpul de răspuns.

#### 4. Traductoare cu elemente fotoelectrice

Elementul sensibil este construit din elemente fotoelectrice de tipul fototranzistorului, fotodiodă fotorezistență sau fotocelule, care detectează variația fluxului luminos, dependent de viteză de rotație.

Ca fluxul luminos să varieze în funcție de turație este nevoie de un modulator, care poate fi un disc sau un cilindru. După felul cum se obține variația fluxului luminos există două tipuri: cu întreruperea fluxului (fig. 9.6.) sau cu reflexia fluxului luminos (fig. 9.7.).

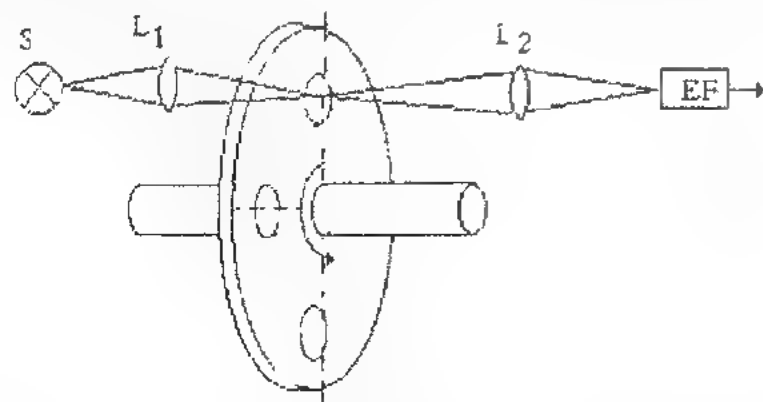


fig. 9.6.

La ieșire se obține un șir de impulsuri al cărui număr este proporțional cu numărul de găuri sau porțiuni reflectorizante de pe disc sau cilindru.

Domeniul de utilizare este cuprins între  $1-10^7$  rot/min.

Adaptorul folosit la aceste ES pot fi analogice, sau numerice.

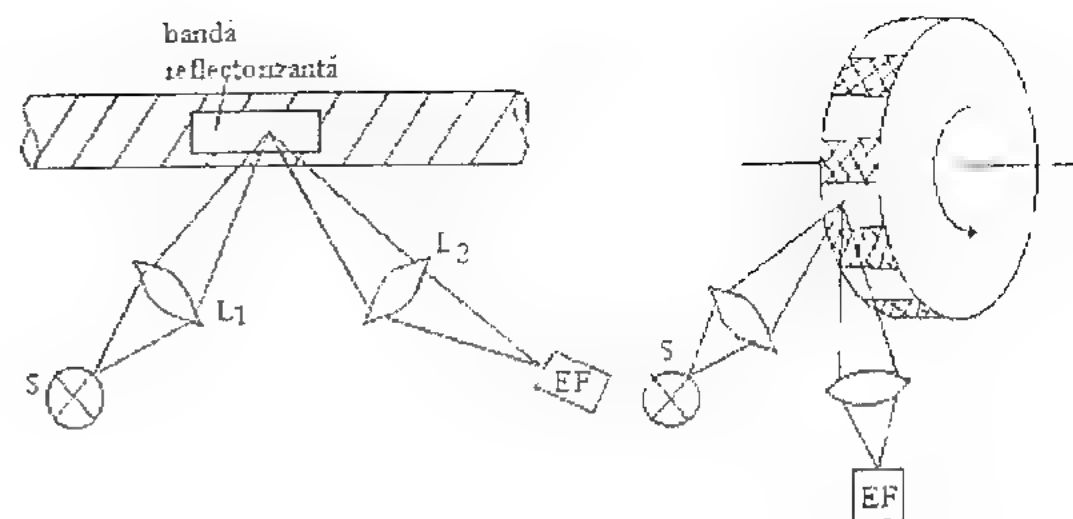


fig. 9.7.

#### 5. Traductoare cu elemente sensibile inductive

Ca element sensibil se folosesc traductoare de proximitate inductive. Deci conțin un circuit LC care oscilează cu o anumită frecvență există un disc cu mai multe proeminențe sau fante care se apropie și se îndepărtează de suprafața sensibilă a traductorului de proximitate. Astfel oscilațiile din bobină vor fi blocate din când în când și la ieșire se obțin impulsuri de tensiune al cărei frecvență este proporțional cu turația.

Domeniul de utilizare este  $1-10^6$  rot/min, cu cerința ca la turații mari și frecvența oscilațiilor să fie mare, iar comutarea de la o stare în alta să se facă rapid.

Față de traductoarele fotoelectrice prezintă o fiabilitate mai mare. Pot fi folosite cu adaptoare numerice sau analogice.

#### 6. Traductoare cu elemente sensibile magnetice

Acste traductoare folosesc elemente sensibile care utilizează efectul Hall. Se poate utiliza traductorul de proximitate tip  $\beta$ SM23X sau  $\beta$ SM24X. Activarea lui făcându-se prin ecranarea câmpului magnetic sau prin concentrarea câmpului magnetic.

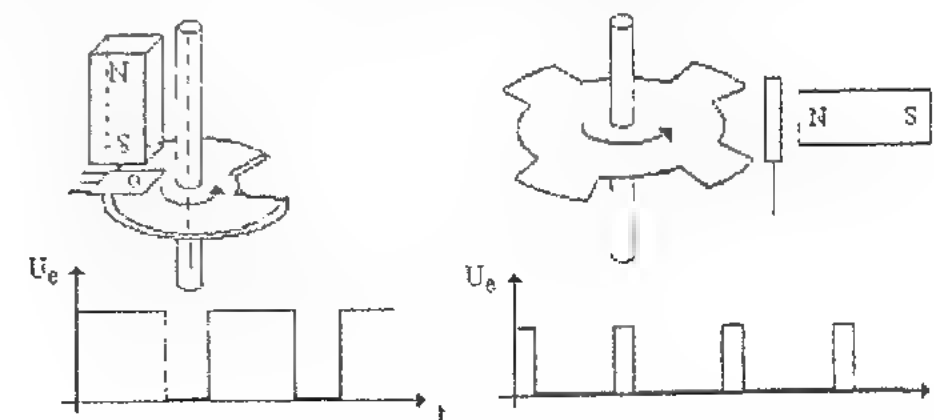


fig. 9.8.

Deoarece senzorul se acționează de la o distanță mică, magnetul și discul feromagnetic trebuie să fie la o distanță mică față de senzor, deci nu sunt permise vibrații.

Domeniul de utilizare este  $0-10^7$  rot/min.

Prezintă avantajul unei dimensiuni mici, dar greu de realizat din cauza distanțelor mici și a magnetului permanent.

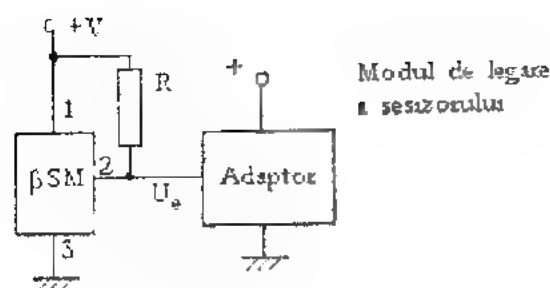


fig. 9.9.

## Traductoare de viteză liniară

### 1. Determinarea vitezei liniare din turație

Se asociază viteza de translație cu o mișcare de rotație, se măsoară turația cu una din traductoarele de turație prezentate mai sus, și alegând în mod convenabil constanta traductorului se poate indica direct viteza liniară.

Este cazul în care avem o rolă, care calcă pe un material care se deplasează liniar. Poate fi folosit numai în cazurile în care nu apar alunecări.

### 2. Cronometrarea timpului de parcurgere

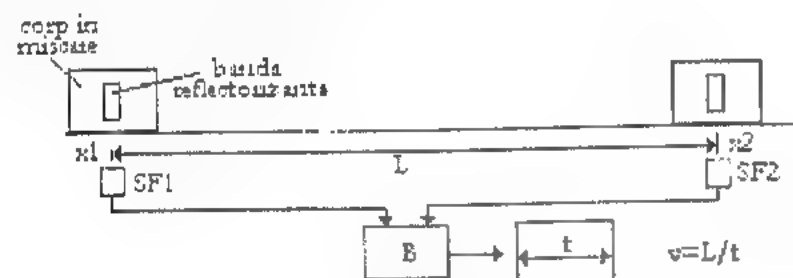


fig. 9.10.

În punctele  $x_1$  și  $x_2$  se plasează sondele fotoelectrice SF<sub>1</sub> și SF<sub>2</sub> care acționează bistabilul B când corpul în mișcare se află în dreptul reperelor. Bistabilul dă un impuls de durată  $t$  cu ajutorul căruia se determină viteza.

$$v = \frac{L}{t} = \frac{x_2 - x_1}{t} \quad (9.10)$$

Calculul se face cu adaptoare numerice și anume cu o schemă asemănătoare cu cea a măsurării turației prin inversarea perioadei.

### 3. Măsurarea distanței parcurse în timp dat

Se folosesc elemente sensibile incrementale fotoelectrice.

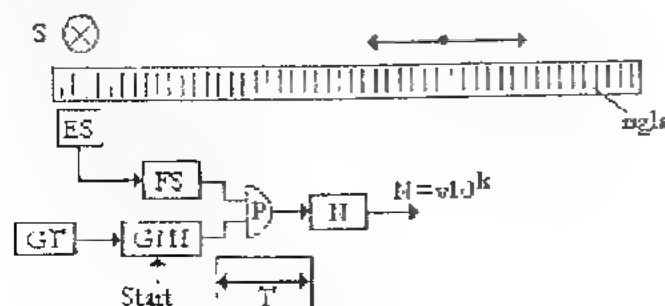


fig. 9.11.

unde ES element sensibil, FS formator de semnal, P poartă, N numărator, GMI generator de monoimpuls, GT generator de tact

Pe durata impulsului  $T$  dat de GMI număratorul numără impulsurile furnizate de ES. Rigla se mișcă între sursă  $S$  și ES și este gradată cu repere aflate la distanțe egale  $\Delta x$ .

Pe durata  $T$  numărul impulsurilor va fi  $N = f \cdot T$ ,  $f$  fiind frecvența impulsurilor. Dacă corpul se deplasează cu distanța  $x$  pe durata timpului  $T$ , frecvența este  $f = \frac{x}{\Delta x \cdot T}$ , numărul

obținut este:  $N = \frac{x}{\Delta x \cdot T} \cdot T = \frac{x}{\Delta x} \cdot K = v \cdot K$  proporțional cu viteza

## Metode moderne de măsurare a vitezelor

Monarch Instruments (SUA) a produs primul tahogenerator pe bază de  $\mu P$ , primul stroboscop cu alimentare de la acumulator și tahometre de buzunar cu sau fără contact.

*Tahometrele optice* funcționează pe principiul de emisie și recepție a unei raze de lumină reflectate de un reper fix marcat pe țintă, permit măsurarea turației până la distanța de 1m și 45° de înclinație față de reper. Au posibilitatea de a prelua informația de la distanță prin senzori optici, în infraroșu, laser, senzori magnetici sau de proximitate.

*TACH-4A* este un tahogenerator portabil care poate realiza diferite funcții, cum sunt: tahometru, numărator, frecvențmetru, temporizator, cronometru. Domeniul de măsurare este 5-500000 rot/min.

*NOVA-STROBE* și *PHASE-STROBE* sunt stroboscoape cu baterie internă reîncărcabilă. Principiul de funcționare se bazează pe iluminarea pulsatorie a unui reper fix marcat pe țintă și citirea numărului de flânșuri, unități de timp, în momentul când reperul marcat pare imobil. Consumul de energie este cu 30% mai mic. Produce 20-30% mai multă lumină albă. Domeniul de lucru este 100-12000 flânșuri pe minut, cu afișaj analogic sau digital. Pot funcționa continuu fără încălzirea carcasei. Permite lucrul în întuneric sau la lumină ambiantă. Are ieșire TTL. *PHASE-STROBE* are domeniul de măsurare mai mare 30-32500 flânșuri pe minut.

## Adaptoare numerice folosite la măsurarea vitezelor

Construcția traductoarelor și adaptoarelor numerice relativ simplă, și ușor de realizat, pentru că multe elemente sensibile, folosite în aceste traductoare furnizează la ieșire semnale periodice, cu frecvența proporțională cu turația. Structura lor seamănă cu frecvențmetre.

După felul în care se determină turația din trenul de impulsuri furnizate de ES, adaptoarele pot fi:

\*cu numărarea impulsurilor (fig. 9.12.)

\*cu inversarea perioadei (fig. 9.13.).

Schema bloc pentru numărarea impulsurilor

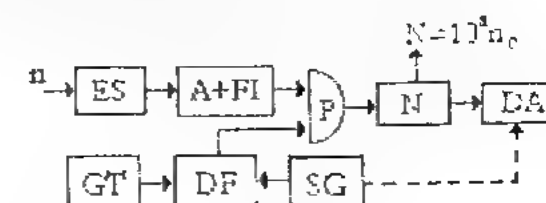


fig. 9.12.

unde: ES-element sensibil, A+FI-amplificator și formator de impulsuri, GT-generator de impulsuri, DF-divizor de frecvență, SG-selector de gamă, P-poartă, N-numărător, DA-dispozitiv de afișare.

La ieșirea DF se obține un impuls dreptunghiular de durată fixă  $T_0$ , pe durata căreia trec prin poarta P un număr de impulsuri egal cu

$$N = k \cdot n_c \cdot \frac{T_0}{60} \quad (9.11.)$$

$n_c$  este valoarea cuantizată a turației

$k$  este o constantă egală cu numărul de impulsuri furnizate de ES pe o turație

Alegând  $T_0 = 60 \cdot 10^6 / k$  unde  $a$  este în funcție de precizie și de timp de măsurare, se obține:

$$N = k \cdot n_c \cdot \frac{60 \cdot 10^6}{k} \cdot \frac{1}{60} = n_c \cdot 10^6 \quad (9.12.)$$

Numărul obținut este proporțional cu turația. Are avantajul că indicația nu este influențată de eventualele fluctuații de viteză, dar necesită un timp de măsurare lung

Schema bloc pentru inversarea perioadei:

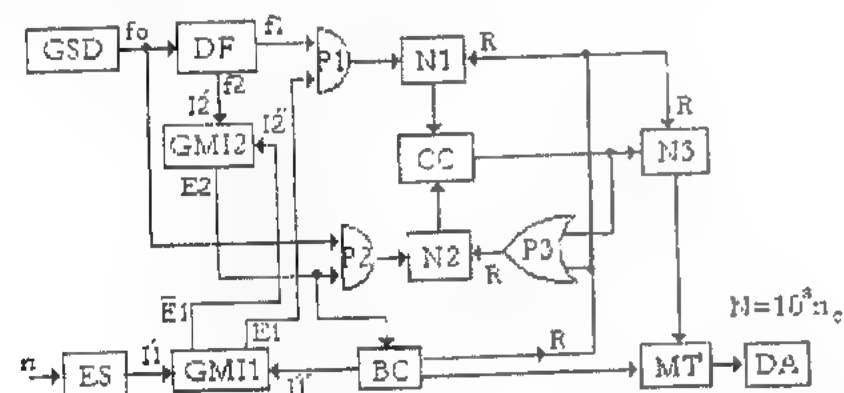


fig. 9.13.

unde: GSD-generator de semnal dreptunghiular, DF-divizor de frecvență, GMI1 și GMI2-generatore monoimpuls, P1, P2, P3-poști, N1, N2, N3-numărătoare, CC-circuit de coincidență, BC-bloc de comandă, MT-memorie tampon, DAF-dispozitiv de afișare, ES-element sensibil

ES furnizează un tren de impulsuri dreptunghiulare de perioadă  $T$ . Aceste impulsuri se aplică pe intrarea  $I_1$  al lui GMI1. Când la intrarea  $I_1$  se aplică un impuls de START de la BC, circuitul GMI1 generează la ieșirea  $E_1$  un impuls de durată  $T$ , care deschide poarta P1. Pe acest interval trec prin P1 impulsuri de frecvență fixă  $f_1$ , care sunt numărate de numărătorul N1. Tot în acest timp pe intrarea  $I_2$  primește GMI2 semnale dreptunghiulare de frecvență  $f_2$ .

La terminarea impulsului  $T$ , P1 se blochează, conținutul numărătorului N1 este  $N_1 = T f_1$ .

Terminarea impulsului de durată  $T$  înseamnă generarea pe ieșirea  $\bar{E}_1$  a lui GMI1 un front crescător care comandă GMI2 pe intrarea  $I_2$  acesta are ca efect generarea unui monoimpuls de durată  $T_2$ . Acest impuls de durată  $T_2$  deschide poarta P2 prin ieșirea  $E_2$  și numărătorul N2 numără impulsurile de frecvență  $f_0$  furnizate de GSD.

Când conținutul numărătoarelor N1 și N2 sunt egale ( $N_1 = N_2$ ) circuitul de coincidență CC dă un impuls, care va fi numărat de N3. Totodată se șterge numărătorul N2 care reia numărarea. Această operație se repetă până la terminarea impulsului  $T_2$ . Conținutul numărătorului N2 este  $N_2 = T_2 f_0$

Impulsurile numărate de N3 va reprezenta partea întreagă a împărțirii  $\frac{T_2 \cdot f_1}{T \cdot f_0} = N$

Alegând  $T_2 f_0 = 60 f_1 \cdot 10^6 \Rightarrow N = n_c \cdot 10^6$  (a ales corespunzător preciziei)

Avantajul circuitului de măsurare este calculul rapid, furnizează o informație în timp real. Se folosește la măsurarea turațiilor joase.

Dezavantajul este că dacă s-a modificat turația pe durata măsurării rezultatul este eronat. Corecția, turația nouă, va fi afișată după următorul interval de măsurare.

## Capitolul 10.

### TRADUCTOARE DE DEBIT

Structura debitmetrelor depinde de relația, de expresia analitică a debitului, folosită în măsurare. Relația de exprimare a debitului de fluid poate fi o exprimare *convențională* sau *necconvențională*.

În cazul exprimării convenționale debitul se definește ca fiind cantitatea de fluid care trece într-o secțiune de conductă în unitatea de timp:

$$Q_v = \frac{dV}{dt} = \frac{d(S \cdot l)}{dt} = S \cdot \frac{dl}{dt} = S \cdot v_f \quad (10.1.)$$

Debitul de volum depinde de secțiunea conductorului și de viteza fluidului

$$Q_m = \frac{dm}{dt} = \frac{d(\rho \cdot V)}{dt} = \rho \cdot \frac{dV}{dt} = \rho \cdot Q_v \quad (10.2.)$$

Debitul de masă depinde de debitul de volum și de densitatea fluidului, deci de condițiile de măsurare (temperatura influențează mult densitatea fluidului)

Măsurarea debitului se reduce la măsurarea vitezei fluidului, care depinde de condițiile concrete de măsurare: natura fluidului, posibilități de amplasare a traductorului, starea curgerii (curgere laminară sau turbulentă)

Debitmetrele convenționale folosesc relațiile analitice de mai sus, în care un termen este constant, iar celălalt variază cu debitul. Schema bloc al unui astfel de debitmetru

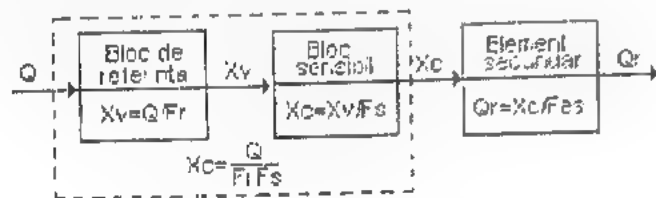


fig. 10.1.

unde:  $F_r$  este ecuația funcțională a blocului de referință,  $F_s$  este ecuația funcțională al blocului sensibil (BS),  $F_{es}$  este ecuația funcțională al elementului secundar.

Blocul de referință (BR) asigură valoarea constantă a lui  $F_r$ , valoarea constantă a unui termen al relației de definiție. Mărimea  $X_v$  ieșirea din blocul de referință (BR) variază proporțional cu  $Q$  și se măsoară cu blocul sensibil (BS), care dă la ieșire mărimea caracteristică  $X_c$  proporțional cu debitul  $Q$

**Debitmetrele directe** folosesc relația  $Q_v = \frac{dV}{dt}$  și au în componența lor una sau mai multe camere de măsurat asemănător blocului de referință (BR), pentru a menține constant  $\Delta V$  și măsoară variația timpului de umplere. Sau invers mențin  $\Delta t$  constant și măsoară variația volumului  $V$ . De exemplu instalații de cântărire sau instalații pentru colectarea lichidului într-un rezervor calibrat

**Debitmetrele indirecte** folosesc relația  $Q_v = S \cdot v_f$ . Blocul de referință menține secțiunea  $S$  constant și măsoară variația vitezei  $v_f$ . De exemplu: debitmetre cu diafragmă, tub Venturi, debitmetre electromagnetice, sau cu ultrasunete.

Blocul de referință poate să mențină viteza  $v_f$  constant și se măsoară variația secțiunii de

### 1. Debitmetre cu traductor rezistiv

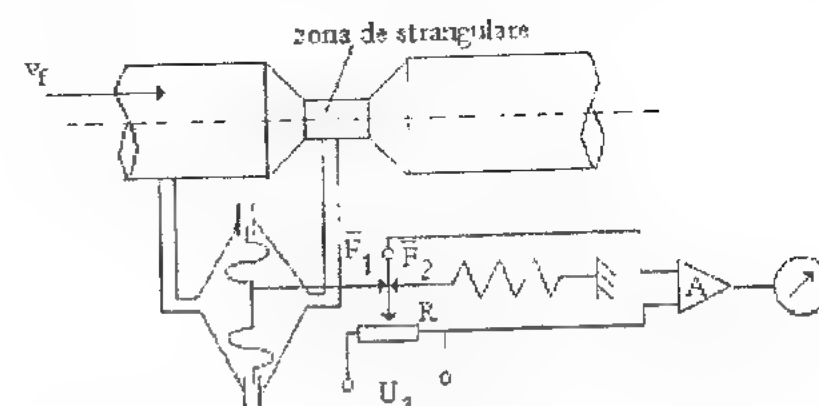


fig. 10.2

Datorită zonei de strângere se creează o diferență de presiune proporțională cu pătratul vitezei:  $\Delta p = k \cdot v_f^2$ . Diferența de presiune se transmite pe un traductor rezistiv prin forțele  $F_1$  și  $F_2$ . Forța  $F_1$  se datorează diferenței de presiune, iar  $F_2$  este datorat de acțiunea resortului. Asupra cursorului potențiometrului acționează  $F = F_1 - F_2$ . Deoarece diferența de forțe este proporțională cu pătratul vitezei și tensiunea culeasă de pe rezistorul  $R$  va fi proporțională cu  $v_f^2$ . Această tensiune se amplifică și se prelucrează pentru obținerea debitului

### 2. Debitmetre cu inducție

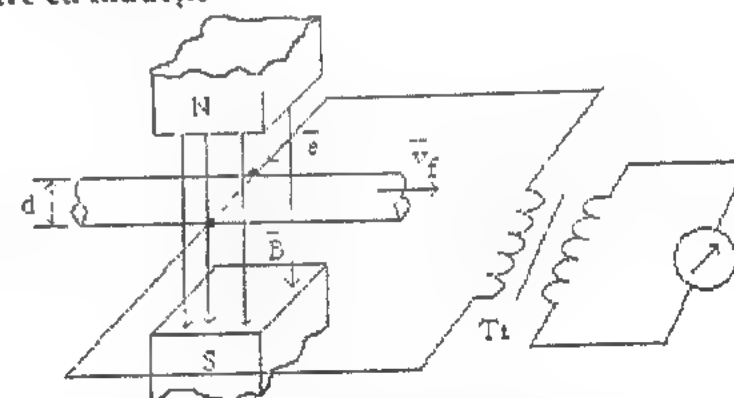


fig. 10.3

Măsurarea se bazează pe legea inducției electrice. Fluidul joacă rolul conductorului, care se deplasează cu viteza  $v_f$  într-un câmp magnetic de inducție  $B$ . Între două puncte aflate la distanța  $d$  (diametrul conductorului) se induce o tensiune electromotoare:  $e = B \cdot v_f \cdot d$

Debitul de volum se exprimă prin.

$$Q_v = \frac{dV}{dt} = S \cdot v_f = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{e}{B \cdot d} = \frac{\pi \cdot d \cdot e}{4B} \quad (10.3.)$$

Prin măsurarea tensiunii induse se determină debitul fluidului.

Pentru eliminarea crorilor, se folosește un câmp magnetic variabil sinusoidal, deci și tensiunea obținută va fi variabilă.

### 3. Debitmetre cu ultrasunete

Aceste tipuri de debitmetre se bazează pe modificarea vitezei de propagare a sunetului într-un fluid aflat în mișcare. Se notează cu  $v_s$  viteza sunetului în fluid static,  $v_f$  viteza fluidului, și  $v_{sf} = v_f$  viteza sunetului în fluidul aflat în mișcare

Țiimpul de propagare a sunetului între două sonde, aflate la distanța  $d$  va fi

$$t_1 = \frac{d}{v_s + v_f} \quad t_2 = \frac{d}{v_s - v_f} \quad (10.4)$$

Diferența de timp dă informații despre viteza fluidului:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{d}{v_s - v_f} - \frac{d}{v_s + v_f} = \frac{2dv_f}{v_s^2 - v_f^2} \approx \frac{2dv_f}{v_s^2} \quad (10.5)$$

Tratut vitezei fluidului s-a neglijat fiind mult mai mic ca pătratul vitezei sunetului.

Măsurarea timpului se face în mai multe feluri.

**Varianta a).** Pe conductor se montează sonde pentru emiterea ultrasunetului. În prima variantă ambele canale se folosesc și ca emițător și ca receptor de ultrasunete. Sondele lucrează una după alta, emiterea unui impuls de ultrasunet se face după recepționarea impulsului emis de cealaltă sondă. Frecvența impulsurilor celor două canale este.

$$f_1 = \frac{v_s + v_f}{d} \quad f_2 = \frac{v_s - v_f}{d} \quad (10.6)$$

Diferența de frecvență, care se determină, este proporțională cu viteza fluidului, deci cu debitul de măsurat:

$$f = f_1 - f_2 = \frac{2 \cdot v_f}{d} \quad (10.7)$$

**Varianta b).**

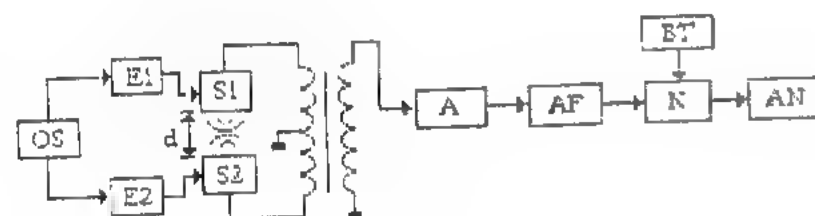


fig. 10.4.

unde OS-oscilator, E1, E2-emițătoare, S1, S2-sonde, A-amplificator, AF-amplificator de frecvență, N-numărător, BT-baza de timp, AN-afișor numeric.

Se măsoară direct timpul de propagare, timpul dintre două impulsuri recepționate. Sondele lucrează concomitent ca emițător și ca receptor. Timpul dintre două impulsuri este proporțional cu viteza fluidului, deci cu debitul de măsurat. Impulsurile recepționate se amplifică, apoi se măsoară intervalul de timp dintre impulsuri și se afișează.

**Varianta c).** Se folosește un transformator diferențial. Și în acest caz sondele lucrează concomitent

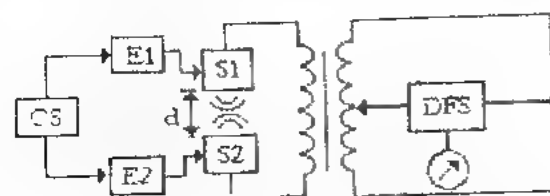


fig. 10.5.

Când fluidul este în repaus, adică  $v_f=0$ , sondele furnizează impulsuri de tensiune în antifază, tensiunea de ieșire din secundarul transformatorului este zero.

Când fluidul se află în mișcare, în funcționarea sondelor apare un defazaj, deci și impulsurile de tensiune furnizate vor fi defazate. Acest defazaj se detectează cu un dispozitiv sensibil la fază (DSF).

Această metodă prezintă avantajele:

- sondele se montează direct pe conductor
- sensibilitate bună 1mm/s pe un conductor cu diametrul  $d=10\text{mm}$
- precizie bună 1-1,5%.

#### 4. Debitmetre cu laser

Se utilizează în cazul fluidelor cu curgere turbulentă.

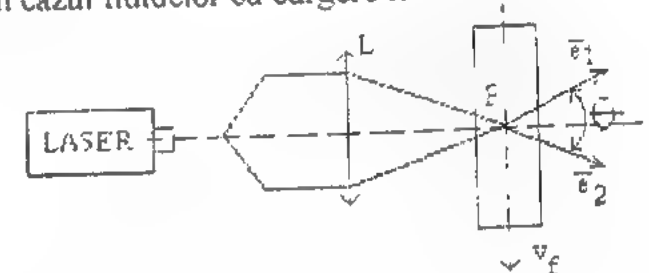


fig. 10.6.

Laserul emite o lumină monocromatică cu lungimea de undă  $\lambda$  și frecvența  $f$ . După lentilă lumina este convergentă în punctul P și este împrăștiată de particula care trece prin punctul P cu viteza  $v_f$ . Unghiul de împrăștiere este  $\theta$ .

$$\text{Frecvența undei difuzate: } f_{\text{dif}} = f + \frac{1}{\lambda}(e_1 - e_2)v_f. \quad (10.8)$$

Prin diferența  $f_{\text{dif}} - f = 2 \cdot \frac{v_f}{\lambda} \sin \frac{\theta}{2}$  se obține o frecvență proporțională cu viteza,

deci cu debitul.

Domeniul de măsură al vitezelor fluidelor este de la 0,1mm/s la 10m/s. Precizia este 0,2-0,5%.

#### 5. Debitmetre termice

Din această categorie fac parte anemometrele, al căror funcționare se bazează pe modificarea rezistenței electrice al unui fir conductor, încălzit prin efect Joule-Lenz. Acest fir conductor este plasat într-un fluid cu temperatură mai joasă. Cu cât viteza de curgere este mai mare, cu atât firul se răcește mai bine și își modifică mai mult rezistența.

În regim staționar ( $v_f=0$ ) căldura degajată de fir în fluid este egal cu puterea consumată:

$$Q = R \cdot I^2 = c \cdot S \cdot k_n (T_f - T_m) \quad (10.9)$$

unde:  $R$ -este rezistența firului încălzit,  $I$ -curentul care trece prin fir,  $c=0,24$  este echivalentul caloric al curentului electric,  $S$ -suprafața firului,  $k_n$ -este coeficient de transmitere al căldurii,  $T_f$  este temperatura firului,  $T_m$  este temperatura mediului (fluidului).

Dacă firul este într-un mediu de fluid în mișcare cu viteza  $v_f$ , căldura cedată în unitate de timp și unitate de lungime de fir cu diametru  $d$ , este:

$$Q' = \lambda (T_f - T_m) \left( 1 + \sqrt{2\pi p g c_v \frac{d \cdot v_f}{\lambda}} \right) \quad (10.10)$$

unde:  $p$ - este densitatea fluidului,  $g$ - este conductivitatea calorică,  $c_v$  este căldura specifică,  $d$ -este diametrul firului,  $v_f$ -este viteza fluidului.

La echilibru termic căldura cedată mediului va fi egal cu puterea consumată

$$Q = Q' \quad R \cdot I^2 = (T_f - T_m) \left( 1 + \alpha \sqrt{v_f} \right) \quad (10.11)$$



nde cu a s-a notat restul de sub radical

Această relație se numește legea lui King.

Din această relație viteza fluidului se poate obține în două moduri. la  $R=\text{constant}$  se măsoară variația curentului de încălzire (temperatură constantă), sau la curent constant se măsoară variația rezistenței (cazul anemometrelor cu curent constant)

Tipuri de anemometre.

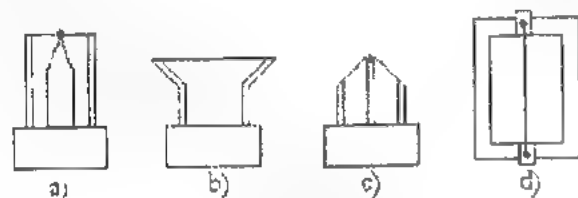


fig. 10.7.

Montarea traductoarelor se face în punte:

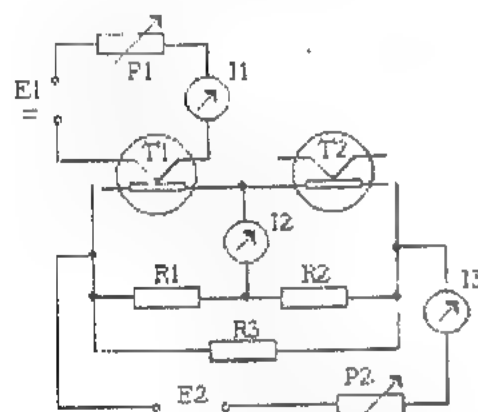


fig. 10.8.

Se folosesc două traductoare,  $T_1$  este traductorul activ, iar  $T_2$  se folosește pentru compensarea variațiilor de temperatură pe durata măsurătorilor.

Cu  $P_2$  se reglează curentul prin traductorul  $T_1$  astfel ca puntea să fie în echilibru când fluidul se află în regim staționar ( $v_f=0$ ). În această situație  $I_2=0$ . Din  $P_1$  se reglează curentul de încălzire. Când fluidul se află în mișcare puntea se dezechilibrează. Aducerea la noul echilibru al punții se face prin  $P_2$  până când  $I_2$  este din nou zero. Indicatorul  $I_3$  indică direct viteza fluidului, respectiv debitul.

Domeniul de măsurare este până la 10m/s în fluide și 400-500m/s în gaze. Mărirea sensibilității se face prin aplicarea unor reacții

## 6. Debitmetre cu traductoare digitale

Aceste traductoare au fost realizate pentru a ușura prelucrarea datelor, respectiv pentru transmiterea lor la distanță. Traductoarele digitale convertesc debitul de fluid în frecvență. Fenomene fizice care stau la baza funcționării lor sunt.

- apariția unor oscilații de natură hidrodinamică în lichidul în mișcare, se determină frecvența acestor oscilații
- vibrația unui corp sub acțiunea curgerii.
- rotația unei turbine cu axa perpendiculară pe direcția de curgere a fluidului

Corespunzător acestor fenomene există următoarele tipuri de debitmetre:

1 Debitmetre cu vârtej folosesc fenomenul de formare a unor vârtejuri în fluid, când acesta întâlnește un corp cu fețe simetrice față de linia de curgere dar neperalele cu ea

Frecvența vârtejurilor depinde de viteza de curgere și poate fi sesizat de un

Pentru o anumită geometrie a corpului se poate scrie

$$R_e = \frac{f \cdot d}{v_f} = ct \quad (10.12.)$$

în care  $R_e$  este constanta lui Reynolds,  $f$  este frecvența vârtejurilor,  $d$ -diametrul conductei,  $v_f$  este viteza fluidului.

Cu ajutorul acestuia se poate determina o relație dintre frecvența vârtejurilor și viteza fluidului:

$$f = \frac{R_e \cdot v_f}{d} \quad (10.13)$$

Instrumentul care măsoară frecvența vârtejurilor poate fi etalonat direct în debit.

2. Debitmetrele cu turbină se folosesc în medii necorozive. O turbină este plasată în fluid, în direcția de curgere. Viteza de rotație a turbinei depinde de viteza fluidului. Viteza de rotație se măsoară cu una din metodele prezentate la traductoarele de turație, poate fi inductiv, optic sau bazat pe legea inducției.

Domeniul de măsură este cuprinsă între  $10^{-8}$ - $10^{-3}$  mc/s

## 7. Debitmetre cu corp plutitor

Un corp plutitor cu tijă este introdus în masa de fluid. La curgerea fluidului cu o anumită viteză, tija se abate de la verticală. Se măsoară abaterea tijei de la verticală cu un traductor optic, inductiv sau capacitiv.

## 8. Debitmetre cu traductor Hall

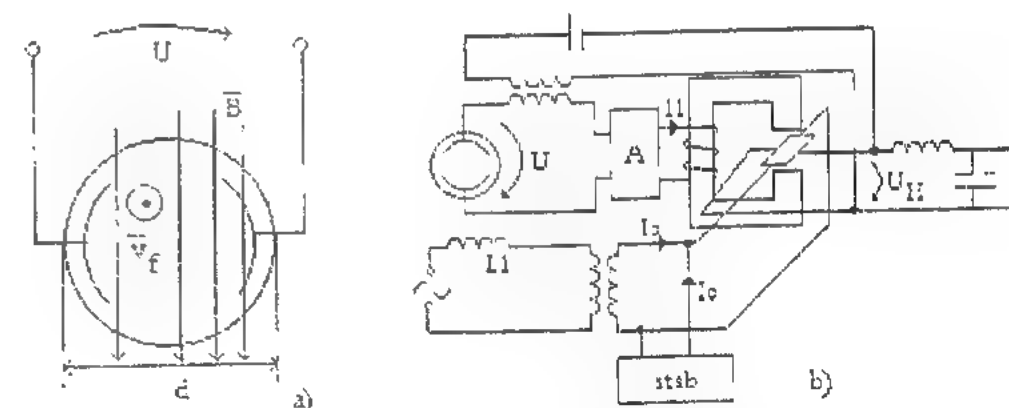


fig. 10.9.

Fluidul curge printr-un tub de secțiune circulară cu diametrul  $d$ . În interiorul tubului sunt plasate doi electrozi cu ajutorul cărora se culege tensiunea  $U$ , care se folosește pentru producerea câmpului magnetic în care se plasează traductorul Hall. Tubul este plasat în câmp magnetic variabil de inducție  $B$ , perpendicular pe direcția de curgere a fluidului.

Tensiunea dintre electrozi este:  $U = B \cdot v_f \cdot d$ .

În figura b) se prezintă traductorul cu adaptor, care elimină inducția  $B$  din expresia tensiunii culese. Acesta este nevoie deoarece câmpul magnetic este produs de o bobină ( $L_1$ ) alimentat de la rețea. Curentul de comandă al traductorului are două componente: una stabilizată  $I_c$  și una alternativă  $I_{c1}$ , proporțională cu  $B$ . Câmpul magnetic în care se află sonda Hall, de inducție  $B_1$  este produs de curentul  $I_1$  care este proporțional cu diferența dintre valoarea efectivă a tensiunii  $U$  și valoarea efectivă a componentei alternative a tensiunii Hall,  $U_H$ . Componenta continuă este proporțională cu viteza fluidului  $v_f$  și nu depinde de  $B$  și  $d$ .

$$U_n = \frac{I_s \cdot d}{\alpha \beta} v_f \quad (10.14.)$$

$\beta$  sunt constante care rezultă din construcția traductorului.

### 9. Debitmetre radiometrice

Funcționarea traductoarelor radiometrice se bazează pe măsurarea curentului ionic care apare în fluid, la iradierea lui cu radiații  $\alpha$ ,  $\beta$ , sau  $\gamma$  și care scade în timp pe măsură ce ionii se recombina. Acest curent ionic se detectează la o anumită distanță de la sursa de iradiere. Curentul ionic la o anumită distanță de la sursă este proporțional cu viteza de deplasare a fluidului. Deplasarea ionilor în interiorul fluidului se realizează cu viteza acestuia, deci descreșterea curentului ionic într-un interval de timp (sau pe o distanță) controlează viteza de deplasare a ionilor și prin intermediul acestuia viteza fluidului.

În afara spațiului de iradiere, legea de variație a numărului de ioni va fi.

$$\frac{dN}{dt} + k_r N^2 = 0 \quad k_r \text{ este coeficient de recombinare.} \quad (10.15.)$$

cu condiția inițială  $t_0=0$  și  $N=N_0$  numărul ionilor formați inițial la acțiunea sursei, soluția ecuației dă numărul ionilor recombinati la momentul  $t$ :

$$N(t) = \frac{N_0}{1 + k_r N_0 t} \quad (10.16.)$$

Numărul ionilor nerecombinați va fi.

$$N_0 - N = N_0 - \frac{N_0}{1 + k_r N_0 t} = N \cdot k_r N_0 t \quad (10.17.)$$

Numărul poate fi exprimat cu ajutorul vitezei fluidului  $t=v_f d$ .

Viteza de recombinare  $v=dk_r N$ , unde  $d$  este distanța de recombinare, distanța parcursă de ioni, timp în care se recombina, iar ionii rămași nerecombinați  $N_N$ , generează un curent.

$$I = \frac{q}{t} = \frac{e \cdot N_N \cdot V}{t} = e \cdot N_N \cdot S \cdot v_f \quad (10.18.)$$

unde  $e$  este sarcina electronului,  $S$  secțiunea conductorului,  $V$  volumul de fluid care trece în dreptul senzorului.

Deci curentul care se măsoară este proporțional cu viteza fluidului, respectiv cu debitul.

Dezavantajul traductorului este că lucrează în c.c. care trebuie să fie suficient de stabil ca să nu influențeze rezultatele măsurărilor.

Precizia este 1-1,5%.

## Capitolul 11.

### TRADUCTOARE DE PRESIUNE

#### Mărimi generale

Presiunea este un parametru de bază în procesele industriale. Desfășurarea corectă a procesului tehnologic depinde în multe cazuri de valoarea cât mai constantă și exactă a presiunii.

Presiunea este specific fluidelor, care se caracterizează prin faptul că curg foarte ușor, în această categorie aparținând lichidele și gazele. Delimitarea lichidelor și gazelor se face prin două proprietăți:

- lichidele au o suprafață liberă, care la echilibru este orizontal, gazele ocupă tot volumul incintei în care sunt.
- lichidele sunt practic incompresibile, gazele se pot comprima.

În cadrul lichidelor se mai face o categorizare, și anume lichide perfecte, în cazul cărora la deplasarea straturilor una pe alta nu apar frecări și  $pV=\text{constant}$ , iar la lichide reale există forțe de frecare la deplasarea straturilor.

În general presiunea se definește prin raportul dintre forța  $F$ , care acționează perpendicular pe suprafața fluidului și suprafața  $S$ .

$$p = \frac{F}{S} \quad (11.1)$$

Măsurarea presiunii se reduce la măsurarea forței.

Pentru gaze se definesc mai multe presiuni

Prima este *presiunea atmosferică* care variază cu altitudinea și de care trebuie ținut seama în cadrul măsurărilor. Din cauza variației presiunii atmosferice a apărut necesitatea stabilirii unei presiuni convenționale de referință, *presiunea normală*. Presiunea normală se definește ca presiunea exercitată de o coloană de mercur de înălțime 735,56mm

În practica măsurării presiunilor deosebim

- *presiune absolută*, presiunea față de vidul absolut
- *presiunea relativă*, sau efectivă, presiunea față de presiunea atmosferei. Acesta poate fi pozitiv (suprapresiune), sau negativ (depresiune).

$$p_A = p_E + 1,01325 \cdot \epsilon \quad [\text{bar}]$$

$\epsilon$  factor de corecție care depinde de condițiile de măsurare

- *presiune diferențială*, diferența de presiune față de o valoare de referință aleasă arbitrar de utilizator.

În fluide apare o *presiune statică* pe suprafața de separare a două mase de fluid în mișcare. *Presiunea totală* care apare în punctul de oprire a curgerii fluidului dacă se pune un obstacol, toată energia fluidului apare sub formă de presiune. Diferența dintre presiunea totală și presiunea statică se numește *presiune dinamică*.

Unitatea de măsură pentru presiune este în sistemul internațional este pascal,  $\text{Pa}=\text{N/m}^2$ . Un pascal este o valoare foarte mică și se folosește multipli acestuia kPa, MPa.

O unitate de măsură des folosită este barul,  $1\text{bar}=10^5\text{Pa}$ , care nu diferă mult de alte unități folosite, cum sunt:  $\text{kgf/m}^2$  sau  $\text{kgf/cm}^2$  care se mai numește *atmosferă tehnică* (at).  $1\text{atm}=101325\text{N/m}^2$

În laboratoare se mai folosesc unitățile *milimetrucoloanăapă* ( $\text{mmH}_2\text{O}$ ), sau *milimetrucoloanămercur* ( $\text{mmHg}$ ), care se numește **torr**, și al căror valori sunt legate de anumite condiții de temperatură, accelerație gravitațională și presiune atmosferică.

Domenii de variație a presiunii tehnice:

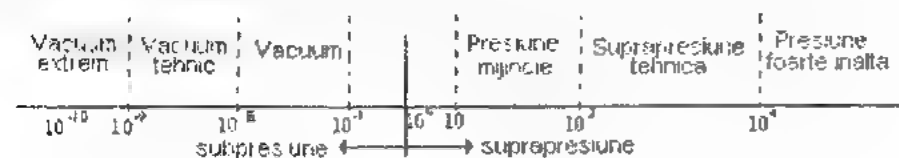


fig. 11.1

Elementele sensibile care se folosesc în traductoarele de presiune convertesc presiunea într-o mărime intermediară (deplasări, deformări), sau într-o mărime electrică (tensiune, sarcină electrică). Dacă presiunea se transformă într-o mărime intermediară, atunci semnalul electric corespunzător se obține prin folosirea metodelor corespunzătoare transformării mărimii necoelectrice respective în mărime electrică

### Traductoare de presiune cu elemente sensibile elastice

Aceste elemente sensibile convertesc presiunea în deformarea elastică a unor corpuri de formă specifică, cum sunt tuburi de diferite forme și membrane de diferite forme, dimensiuni și materiale.

#### **1. Membrane**

Membranele sunt plăci elastice de grosime mică, de formă circulară, încastrate la periferie. Se folosesc la măsurarea presiunilor de la câțiva milimetru de coloană de apă până la sute de atmosfere, depinzând de materialul și grosimea membranei

După forma constructivă pot fi membrane plane (a) și membrane gofrate (suprafața lor este profilată-b).



fig. 11.2.

Membranele plane se clasifică.

- după rigiditate: pot fi foarte rigide sau metalice și flexibile sau nemetalice
- după raportul dintre săgeata  $y$  și grosimea membranei  $\delta$ .
  - membrane groase  $y \leq \delta$
  - membrane cu grosime medie  $y \leq 3\delta$
  - membrane subțiri  $y > 3\delta$
- după modul de încastrare pot fi perfect lipite și libere care pot să alunece între două inele concentrice.

Materialele membranelor plane metalice pot fi bronz fosforos, bronz cu beriliu, alpaca, oțel inoxidabil. Iar cele nemetalice se confecționează din: cauciuc, țesături cauciucate, piele

Deoarece în traductoarele de presiune se folosesc îndeosebi membrane metalice, se va prezenta caracteristicile acestora

Caracteristica presiune-săgeată.

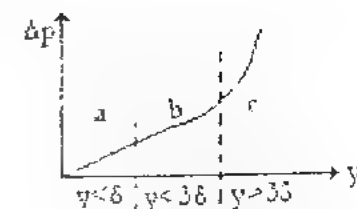


fig. 11.3

Există trei zone de lucru corespunzător rapoartelor  $\frac{y}{\delta}$ . În primele două zone caracteristica este liniară

Pentru determinarea relației matematice dintre presiunea  $p$  și săgeata maximă  $y$ , se va considera un element de volum din membrană:



fig. 11.4.

Relația generală pentru membrane groase (zona a de pe caracteristică)

$$\frac{p \cdot R^2}{E \cdot \delta^2} = A_1 \frac{y}{\delta} \quad (11.2.)$$

unde  $p$  este presiunea aplicată,  $R$  este raza membranei,  $E$  este modulul de elasticitate,  $A_1$  este o constantă de material  $A_1 = \frac{16}{3(1-\mu^2)}$ , în relația lui  $A_1$   $\mu$  este coeficientul lui Poisson

Relația pentru membrane de grosime medie (zona caracteristici b):

$$\frac{p \cdot R^3}{\delta^4} = A_1 \frac{y}{\delta} + A_3 \left( \frac{y}{\delta} \right)^3 \quad (11.3)$$

coeficientul  $A_3$  depinde de modul de încastrare a membranei, pentru membrane perfect încastrate  $A_3=3$ , iar pentru membrane libere  $A_3=6/7$ .

Relația pentru membrane subțiri (zona caracteristici c):

$$\frac{p \cdot R^3}{\delta^4} = A'_1 \frac{y}{\delta} + A'_3 \left( \frac{y}{\delta} \right)^3 \quad (11.4.)$$

coeficienții depind de material, de modul de încastrare. Caracteristica este nelinieară, se dă în tabele, sau grafic.

#### Membrane ondulate (gofrate)

Aceste membrane sunt prevăzute cu o serie de gofreuri concentrice, de diferite forme, având în zona centrală o porțiune plană rigidizată. Avantajele membranelor gofrate sunt: permit o săgeată mai mare, fără deformare permanentă a membranei, datorită acestuia permit măsurarea presiunilor mai mari. Au o caracteristică liniară, stabilitate mare în timpul funcționării.

Formele gofreurilor pot fi

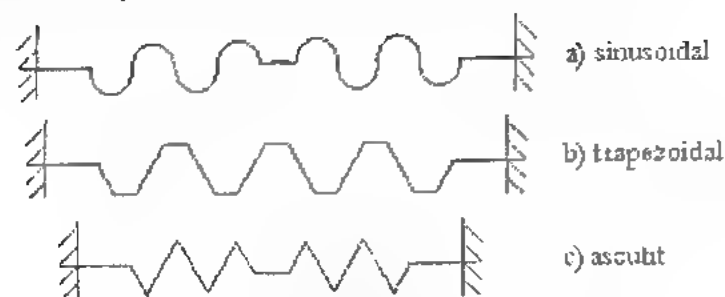


fig. 11.5

Membranele ondulate pot fi folosite simplu, sau sub forma unor ansambluri de două membrane, lipite pe circumferință, numându-se capsule.

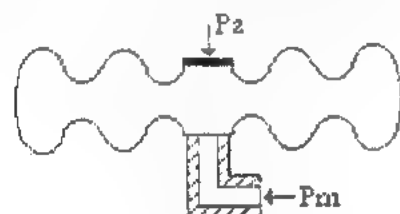


fig. 11.6.

După destinație aceste capsule pot fi.

- manometrice – se folosesc pentru măsurarea diferențelor de presiune din exterior și interior. Presiunea de măsurat se introduce în interiorul capsulei
- aneroidale – în interiorul capsulei este vid, se măsoară presiunea din exterior.
- umplute – în interiorul capsulei se introduce lichid, gaze, sau vapori, și se măsoară presiunea exterioară față de presiunea din interior.

Avantajul capsulelor este obținerea unei săgeți mai mari.

Materialele din care se confecționează capsulele este bronz cu beriliu.

Se folosesc baterii de capsule, care sunt alcătuite de mai multe capsule, ele permit măsurarea unor tensiuni mai mari (se obține o săgeată mai mare)

$$y_B = k y_C = 2k y_M \quad (11.5.)$$

$k$  este numărul de capsule,  $y_B$  este săgeata bateriei,  $y_C$  este săgeata capsulei, iar  $y_M$  este săgeata membranei.

## 2. Tuburi ondulate

Tuburile ondulate se mai numesc și sifoane, ele au gofraje transversale pe suprafața laterală

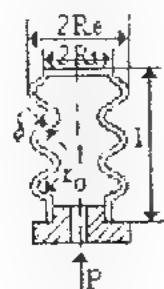


fig. 11.7.

Materiale folosite pentru confecționarea tuburilor:

- pentru presiuni  $p < 1,5 \text{ daN/mm}^2$  se fac din bronz cu beriliu
- pentru presiuni  $p > 200 \text{ daN/mm}^2$  și funcționează în medii agresive se realizează din oțel inoxidabil

Dimensiunea tuburilor, respectiv forma undulelor este foarte variată, depinde de utilizare. De exemplu în aparatele de măsură se folosesc tuburi cu diametrul cuprins între 7 și 150 mm

Relația matematică între presiune (forță) și săgeată.

$$y = 2 \cdot n \cdot A_k \frac{F \cdot r_0}{E \cdot \delta} \quad (11.6)$$

în această relație  $n$  – numărul de undule

$A_k$  – coeficient care depinde de material și de geometria lui,

$F$  – forța care acționează,

$r_0$  – raza undulelor,

$E$  – modul de elasticitate,

$\delta$  – grosimea peretelui tubului.

## 3. Tuburi Bourdon

Tuburile Bourdon sunt tuburi cu pereți subțiri sau groși, având forma unui arc de cerc cu unghiul la mijloc în jur de  $\alpha = 250^\circ$ . Secțiunea tubului poate fi plan ovală, eliptică sau în D. Din punct de vedere constructiv sunt ușor de realizat, au o mare răspândire în măsurarea presiunii. Au o sensibilitate mică, pentru a obține o deplasare apreciabilă la capătul liber se montează un mecanism de multiplicare.

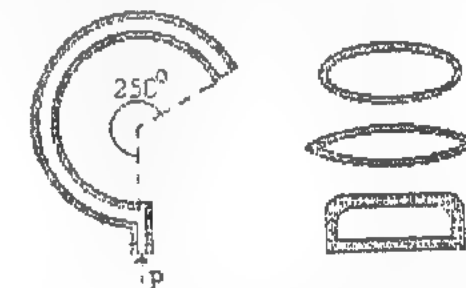


fig. 11.8.

Se folosesc atât pentru presiuni joase (câțiva mmHg), cât și pentru presiuni mari (peste  $400 \text{ daN/cm}^2$ ). Pentru presiuni peste  $10 \text{ daN/cm}^2$  se folosesc tuburi cu pereți groși

Ceea ce interesează în funcționarea tubului Bourdon ca element sensibil este deplasarea capătului liber sub acțiunea presiunii, deplasare care este în sensul îndreptării tubului. Se consideră un tub Bourdon cu unghiul la centru  $\alpha = 270^\circ$  cu secțiune eliptică, deplasarea capătului liber pe verticală se poate exprima prin:

$$d = \frac{\Delta \gamma}{\gamma^2} \sqrt{\gamma^2 + 2 - 2 \sin \gamma - 2 \cos \gamma} \quad (11.7.)$$

unde  $\Delta \gamma$  este deplasarea unghiulară a capătului liber sub acțiunea presiunii  $p$ , iar  $\gamma$  este unghiul la mijloc al tubului.

În același timp se deformează și secțiunea tubului, sub acțiunea presiunii, tinzând să fie circulară.

Membranele mai pot fi utilizate și pentru separarea unui element sensibil elastic, de fluidul a cărui presiune trebuie măsurată. Aceste membrane se numesc membrane de separație. Ca material pentru executarea membranelor de separație se întrebunțează în funcție de gradul de agresivitate a fluidului de măsurare, oțel inox, Hastelloz C, Tantal

## Dispozitive de conversie pentru elemente sensibile elastice

Se va prezenta principalele elemente asociate elementelor elastice, destinate pentru inversia deformației mecanice sub acțiunea presiunii, în variații ale unor parametri de circuit.

### 1 Elemente de tip inductiv.

Presiunea de măsurat modifică prin intermediul elementului elastic inductanța unei bobine. modificarea inductanței se poate face în mai multe feluri, vezi traductoarele de deplasare. În cadrul măsurării presiunilor se folosesc variația inductivității cu contact direct (a), sau fără contact (b).

Cuplarea mecanică directă a elementului sensibil cu elementul de conversie, poate în mai multe feluri. O primă variantă ar fi utilizarea a două bobine în montaj diferențial interiorul cărora se deplasează un miez care este în contact direct cu membrana.

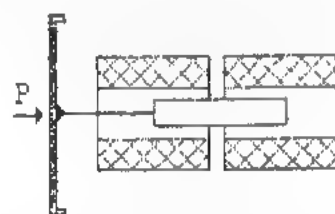


fig. 11.9

Se folosește pentru măsurarea presiunilor relative. printr-o calibrare adecvată se pot folosi pentru măsurarea presiunilor într-o gamă largă: 0-0,1 bar, sau 0-200 bar. Membranele folosite sunt confecționate din CuBe (0,1 < p < 0,25 bar), sau din oțel (0,5 < p < 200 bar).

Modificarea poziției miezului magnetic se poate obține și prin utilizarea elementelor sensibile tip burduf sau tub Bourdon

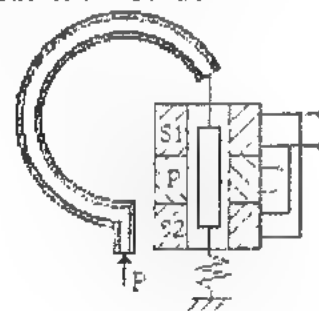


fig. 11.10.

Capătul liber al tubului Bourdon este cuplat cu miezul unui transformator diferențial pe poziția de mijloc, presiune nulă, tensiunea de ieșire ascundărilor este nulă. La o presiune mică, se modifică poziția capătului liber al tubului, se deplasează miezul și tensiunea de ieșire va fi diferită de zero.

În cealaltă categorie a elementelor de conversie aparțin cele fără contact. În cazul în care față inductivitatea bobinei se modifică prin modificarea reluctanței circuitului magnetic

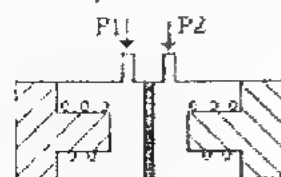


fig. 11.11.

Membrana este executată dintr-un material de bună permeabilitate magnetică. În momentul introducerii presiunilor P<sub>1</sub> și P<sub>2</sub> membrana se deformează și se modifică

modifică în mod diferit. Se folosește pentru măsurarea diferențelor de presiune prezintă erori datorită vibrației și variației de temperatură. pentru înlăturarea acestor deficiențe se folosesc membrane subțiri și ușor pretensionate.

### 2 Elemente de tip capacitiv.

Traductoarele de presiune capacitive se bazează pe conversia presiunii într-o variație de capacitate. Acesta se realizează dacă una din armături este chiar elementul sensibil elastic, de regulă o membrană. La aplicarea presiunii apare o săgeată care duce la modificarea distanței dintre armături, deci se modifică capacitatea inițială.

Se consideră o capacitate cu o armătură fixă și cealaltă fiind constituită dintr-o membrană încastrată la ambele capete. Sub efectul presiunii de măsurat, membrana se deformează și ia forma unei calote sferice.

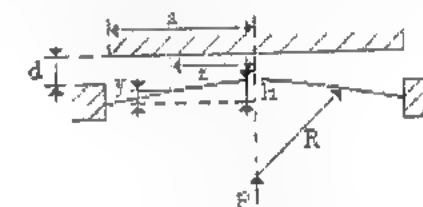


fig. 11.12.

Presupunând membrana cu o rigiditate mică, săgeata y corespunzător unei raze r de la mijloc, se exprimă prin:

$$y = \frac{2S}{p} \left[ \sqrt{1 - \left( \frac{rp}{2S} \right)^2} - \sqrt{1 - \left( \frac{ap}{2S} \right)^2} \right] \quad (11.8)$$

unde S este tensiunea din membrană (N/m),  
p presiunea fluidului (N/m²),  
a, y, r conform figurii în m

$$\text{Dacă } \left( \frac{h}{a} \right)^2 \leq 1 \quad y = \frac{p}{4S} (a^2 - r^2) \quad (11.9)$$

Capacitatea parțială dC în F în zona cea mai apropiată a sferei este dată de:

$$dC = \frac{2\pi \cdot \epsilon_a \cdot dr}{d - y} \quad (11.10)$$

unde dr este distanța între armături în zona cea mai apropiată. Prin integrare se poate determina modificarea de capacitate pentru întreaga suprafață

Sensibilitatea unui astfel de element sensibil este:

$$S_r = \frac{a^2}{8Sd} p. \quad (11.11)$$

Schemele de măsurare, de sesizare a variației elementului de circuit (bobină sau condensator), sunt de tip punte de curent alternativ în regim dezechilibrat.

### 3 Elemente de tip rezistiv.

La măsurarea presiunilor ca element sensibil rezistiv au aplicabilitate mărele tensorezistive TER. Acestea se montează, se lipesc pe elementul elastic. La deformarea membranei se deformează și traductorul rezistiv, modificând astfel rezistența. Variația de rezistență este proporțională cu presiunea



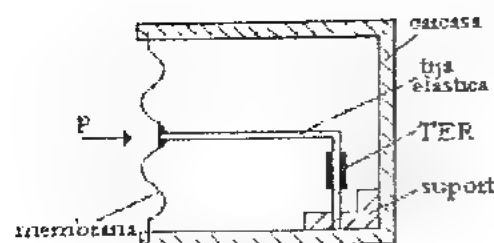


fig. 11.13

Toate montajele cu mărci tensometrice folosite pentru măsurarea forțelor pot fi folosite și pentru măsurarea presiunilor, cu observația că suprafața asupra căreia acționează trebuie să fie bine determinată.

### Adaptoare pentru elemente sensibile elastice

Adaptoarele electronice, care sunt construite pentru elemente elastice, presupun utilizarea unor elemente de conversie intermediare inductive, capacitive sau rezistive. Astfel presiunea de măsurat este convertită într-o variație a unui parametru electric de circuit. Ca atare adaptorul presupune o schemă de tip punte Wheatstone sau de impedanțe, al cărui tensiune de dezechilibru este proporțional cu presiunea. Lanțul de prelucrare mai cuprinde un amplificator de tensiune (c.c. sau c.a.), circuit de conversie tensiune-curent. În cazul punților de impedanțe după amplificator mai trebuie intercalat un circuit de redresare sincronă, alimentarea și comanda redresorului făcând de la un oscilator.

O altă variantă a adaptoarelor destinată traductoarelor de presiune cu elemente elastice este cea care preia direct deformarea elementului sensibil, elementele de conversie intermediară fiind incluse în adaptor. Există două tipuri semnificative din această categorie:

- cu modulator magnetic unghi-tensiune,
- cu balanță de forțe.

### Traductoare de presiune cu elemente piezorezistive

Piezorezistivitatea reprezintă proprietatea unui corp de a-și modifica rezistivitatea (rezistența electrică) sub acțiunea unui câmp de tensiuni mecanice la care este supus. Acest fenomen este mai puternic în cazul unor semiconductoare. Variațiile de rezistență pot fi produse atât de forțe statice cât și de forțe dinamice.

Rezistivitatea unui semiconductor se determină:

$$\rho = \frac{1}{e \cdot n \cdot \mu} \quad (11.12.)$$

unde  $e$  este sarcina electronului,  $n$  numărul de purtători de sarcină și  $\mu$  mobilitatea medie.

Pentru un semiconductor dat modificările depind de concentrația de purtători și de orientarea cristalografică în raport cu direcția de aplicare a solicitărilor.

Efectul piezorezistiv se explică prin influența deformărilor mecanice asupra energiilor relative ale benzilor de conducție și de valență, influență depinzând de direcția și mărimea solicitărilor. Deformațiile măresc mobilitatea purtătorilor pe o anumită direcție, iar pe direcția perpendiculară o scad.

Variația rezistenței unui corp cu alungirea se poate determina cu *factorul piezorezistiv*, care are următoarea expresie.

$$K = 1 + 2\nu + \pi E_0 \quad (11.13.)$$

unde  $\nu$  este coeficientul lui Poisson și  $E_0$  este modulul de elasticitate al semiconductorului

Primii doi termeni reprezintă variațiile dimensionale ale cristalului, iar ultimul reprezintă variațiile rezistivității cu solicitările mecanice. Pentru semiconductoarele cu un număr mare de purtători factorul  $K$  devine independent de alungire.

În aplicațiile industriale piezorezistivitatea se folosește prin elemente rezistive difuzate într-o diafragmă de monocristal de siliciu.

Factorul de marcă are expresia:

$$G = \frac{1}{\varepsilon} \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad (11.14)$$

unde  $\rho$  este rezistivitatea

Adaptoarele pentru elemente piezorezistive se bazează pe scheme de jumătate de punte sau punte completă. Deoarece este greu de a separa modificările de rezistență datorate presiunii și datorate variațiilor de temperatură, elementele piezorezistive nu se folosesc singure. Se montează două sau patru elemente, astfel ca variațiile de rezistență provocate de presiunea de măsurat să fie de semne contrare.



fig. 11.14.

### Traductoare de presiune piezoelectrice

Fenomenul de piezoelectricitate constă în apariția unei polarizări electrice pe suprafețele unui cristal atunci când asupra lui acționează o forță (presiune).

Traductoarele piezoelectrice sunt destinate pentru măsurarea presiunilor statice cât și pentru măsurarea presiunilor dinamice. Pentru măsurarea presiunii se pot folosi două procedee de măsurare:

- folosirea efectului piezoelectric direct,
- dependența frecvenței proprii de rezonanță de presiune

#### 1. Traductoare bazate pe efectul piezoelectric direct

Un astfel de element sensibil constă dintr-o pereche, sau mai multe perechi de discuri de cuarț, ale căror fețe electrice sunt fixate între discuri de metal. Pentru a putea măsura presiuni dinamice ele trebuie să fie pretensionate (500-1000N pentru discuri între 6-10mm). Pretensionarea se face cu ajutorul unor arcuri plasate lateral.

Dezavantajul unor astfel de elemente sensibile este acela că orice încovoiere a ansamblului modifică frecvența proprie de oscilație și produce erori de neliniaritate. Pretensionarea care trebuie să fie constantă este funcție de temperatura de lucru, acesta introduce erori suplimentare.

Presiunea maximă care poate fi aplicată pastilelor din cuarț este 9500 bari, iar pentru materialele piezoceramice 8000 bari. Aceste sunt valori limită, valorile practice ale presiunii nu depășesc 1/10-1/20 din valorile de mai sus.

În timpul funcționării trebuie asigurat paralelismul și planeitatea suprafețelor. Orice neregularitate duce la apariția tensiunilor interne și la distrugerea materialului.

În vederea creșterii sensibilității se folosesc mai multe runde care se conectează astfel ca efectul presiunii să se însumeze.

O formă constructivă avantajoasă este elementu piezoelectric sub formă tubulară metalizat în interior și exterior. Aceste traductoare sunt realizate din titanat de bariu. Tensiunea electrică produsă de tensionări mecanice este proporțională cu forța.

Domeniul de măsurare este 1mbar și 1000 bari. Sensibilitatea este cuprinsă între 0,05pC/bar și 1pC/bar.

#### Traductoare bazate pe dependența frecvenței proprii de rezonanță

Un asemenea traductor se bazează pe dependența frecvenței proprii de rezonanță a cuarțului de presiunea exercitată asupra sa. Deoarece modificarea de frecvență proprie este redusă, se folosește un al doilea traductor ca referință. Plăcile de cuarț sunt plasate între două perechi de electrozi și asupra unuia acționează presiunea (forța).

Semnalele produse de cele două oscilatoare sunt aplicate unui mixer din care se extrage diferența de frecvență  $\Delta f$ . Pentru creșterea sensibilității această diferență se multiplică de câteva zeci de ori.

Asfel de traductoare se construiesc pentru domeniul 0-1 bar, frecvența de lucru al oscilatoarelor este de ordinul zecilor sau sutelor de MHz. Eroarea de liniaritate, de instabilitate și repetabilitate este mai mică de 250 ppm din domeniul de măsurare

## Capitolul 12.

### TRADUCTOARE pH-METRICE

Prin măsurarea pH-ului se determină aciditatea respectiv alcalinitatea unei soluții. Analiza acestor soluții se bazează pe măsurarea concentrației ionilor de hidrogen. Concentrația ionilor  $H^+$  determină comportarea soluțiilor în diferite procese fizico-chimice, biochimice, biologice. Creșterea concentrației ionilor de hidrogen este un indice de control.

Măsurarea se face, în majoritatea cazurilor în soluții apoase.

În apă are loc o disociere intensă a electroliților, datorită valorii mari a constantei dielectrice a apei. Această disociere are loc chiar și în apa pură, fără electrolit, deci apar ioni pozitive de hidrogen  $H^+$  și ioni negative de radical  $OH^-$ . La echilibru se poate scrie:



Constanta de disociere pentru apă are expresia:

$$k_D = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]} \quad (12.2)$$

Deoarece concentrația moleculelor de apă neionizate  $[H_2O]$ , este constantă, constanta de disociere este dat de produsul concentrației ionilor de hidrogen și concentrația ionilor de radicali:

$$k_D = [H^+][OH^-] \quad (12.3)$$

În condiții normale de presiune și temperatură constanta de disociere pentru apă are valoarea  $k_D = 10^{-14}$  ioni g/l.

Apa în stare pură este neutră, deci concentrația ionilor de hidrogen  $[H^+]$  este egală cu concentrația ionilor de radicali  $[OH^-]$  și are valoarea:

$$[H^+] = [OH^-] = \sqrt{k_D} = 10^{-7} \text{ ioni g/l} \quad (12.4)$$

Dacă se adaugă o cantitate mică de acid slab crește concentrația ionilor de hidrogen  $[H^+]$  și scade concentrația ionilor de  $[OH^-]$  pentru a păstra echilibrul.

Dacă se adaugă alcaline fenomenul este invers, scade concentrația ionilor de hidrogen  $[H^+]$  și crește concentrația ionilor de  $[OH^-]$ .

Deci pentru acide  $[H^+] > [OH^-]$   
 pentru alcaline  $[H^+] < [OH^-]$

Concentrația ionilor de hidrogen variază între  $10^0 - 10^{-14}$ . Această exprimare este greoaie, citirea este incomodă. Deaceia exprimarea concentrației ionilor de hidrogen se face prin logaritmul ei, cu semn schimbat și se numește *exponent cu hidrogen pH*.

$$pH = -\log[H^+]$$

Acest exponent este pentru:  
 apă pură  $pH = 7$   
 soluții acide  $pH > 7$   
 soluții alcaline  $pH < 7$ .

Valoarea pH exprimă concentrația reală a ionilor de hidrogen pentru electroliți slabi și diluați. Pentru electroliți tari se folosește un factor de corecție pentru determinarea concentrației. Această corecție nu este supărător, deoarece aciditatea sau alcalinitatea nu este determinat de concentrație ci de activitate.

Pentru determinarea concentrației ionilor de hidrogen, valoarea pH-ului, se măsoară tensiunea electromotoare, care apare între electrozii unei pile, între care electrolitul este tocmai soluția de studiat.

Unul dintre cei doi electrozi este electrodul de măsurare, potențialul lui este legat de activitatea ionilor de hidrogen  $[H^+]$ . Celălalt electrod este electrod de compensare, cu potențial bine determinat.

Ca electrod de măsurare se folosește electrodul de hidrogen, chihidronă, de sticlă sau electrozi cu oxizi metalici. Ca electrod de compensare se folosește electrod de calomel.

#### Electrodul de hidrogen

Este alcătuit dintr-un fir sau placă de platină saturată prin spălare cu hidrogen. Operația de spălare se efectuează înaintea fiecărei măsurători. Astfel electrodul are proprietățile electrodului de hidrogen gazos.

La introducerea electrodului într-o soluție, se face un schimb de ioni și după stabilizarea echilibrului apare o diferență de potențial între electrod și soluție. Această diferență de potențial se poate exprima prin:

$$E = E_0 + \frac{RT}{F} \ln a_{H^+} \quad (12.5)$$

unde  $E_0$  este potențial normal de electrod. Diferența de potențial care se stabilește între electrod și o soluție cu activitatea ionică egală cu unu ( $a_{H^+}=1$ ).

$a_{H^+}$  este activitatea ionilor de hidrogen

$R$  constanta gazelor

$T$  temperatura absolută la care se efectuează măsurătoarea

$F$  constanta lui Faraday,  $F=96500C$

Pentru electrozi de hidrogen  $E_0=0$ .

Tensiunea electromotoare unei pile realizate din electrozi de hidrogen și de calomel

$$E = E_{calomel} - \frac{RT}{F} \ln a_{H^+} \quad [V] \quad (12.6)$$

Dacă se introduc valorile constantelor, respectiv valoarea tensiunii corespunzătoare electrodului de calomel,  $E_{calomel}=0,2458V$ , se poate determina valoarea pH-ului din expresia:

$$pH = \frac{E - 0,2458}{0,05816} \quad (12.7)$$

#### Electrodul de calomel

Este format dintr-un electrod de mercur (Hg) în contact cu o soluție de clorură de potasiu, având o concentrație bine determinată (de obicei saturată). valoarea potențialului furnizat nu este influențată de temperatură.

#### pH-metre

Aparate destinate pentru măsurarea pH-ului măsoară defapt o tensiune electromotoare foarte mică, furnizată de o sursă cu rezistență internă foarte mare. Astfel măsurarea acestei tensiuni prin metode obișnuite duce la erori mari datorită curenților care apar și trec prin soluție.

Caracteristicile lanțului de măsurare:

- rezistență foarte mare și variabil de la un electrod la altul,
- tensiune electromotoare și rezistență internă depind de temperatură

Aparatul de măsură este un aparat special, care trebuie să satisfacă următoarele cerințe:

- indicația aparatului să nu depindă de rezistența internă,
- curentul electric care trece prin lanțul de măsurare trebuie să fie foarte mic,
- trebuie să existe posibilitatea compensării variației tensiunii cu temperatura,
- variația tensiunii de alimentare în limitele  $\pm 20\%$  să nu influențeze măsurătoarea.

După metoda de măsurare există două tipuri de aparate: aparate cu citire directă, și aparate cu compensare.

#### 1. Aparare cu citire directă

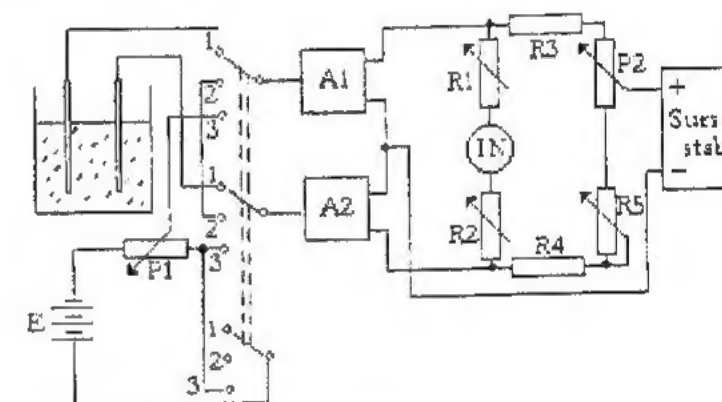


fig. 12.1.

Conform poziției comutatorului K aparatul are trei regimuri de funcționare:

- $K=1$  măsurare
- $K=2$  reglarea nulului aparatului
- $K=3$  reglarea sensibilității (preciziei), prin aplicarea unei tensiuni furnizate de sursa E prin potențiometrul P1. Se ajustează di rezistențele R1 și R2 până când pentru tensiunea respectivă indicația aparatului va fi cel marcat pe scala aparatului.

Aparatul este defapt un voltmetru cu impedanță mare de intrare. Reglarea nulului se face înainte fiecărei măsurători. Alimentarea aparatului se face prin redresor și sursă stabilizată. Tensiunea electromotoare de măsurat este amplificat de amplificatoarele A1 și A2. Precizia de măsurare este 2-2,5%.

#### 2. Aparare de măsurare cu compensare

Pentru reducerea curentului care trece prin lanțul de măsurare se folosește metoda de măsurare prin compensare. Cu tensiunea electromotoare de măsurat se înscriază diferențial (în opoziție) o tensiune variabilă furnizată chiar de instrumentul de măsură. Egalitatea celor două tensiuni se poate stabili cu mare exactitate. Instrumentul se folosește ca indicator.

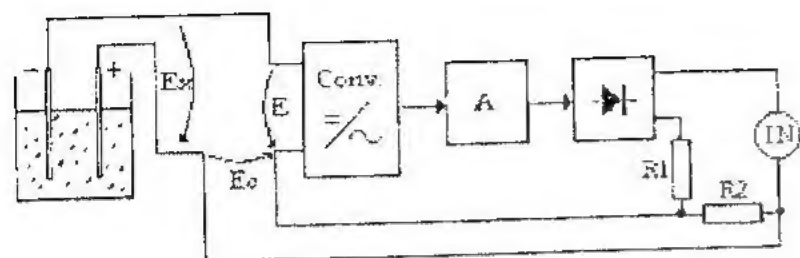


fig. 12.2.

Tensiunea continuă de intrare în aparat  $E = E_X - E_C$  se transformă în tensiune alternativă și se amplifică, apoi se redresează și se aplică instrumentului legat la ieșire. Pe rezistența  $R_2$  se obține o tensiune  $E_C$  care va fi tensiunea de reacție și care se aplică la intrare în serie cu  $E_X$ . Tensiunea de reacție se poate modifica prin schimbarea raportului  $R_1/R_2$ . Dacă amplificarea este suficient de mare, compensarea tensiunii electromotoare se poate face complet, la egalitatea celor două tensiuni  $E_X = E_C \Rightarrow E = 0$ .

Pentru măsurători continue se folosește în locul rezistenței  $R_2$  un potențiometrul înregistrator. Precizia de măsurare este mult mai mare 0,3 – 0,5%.

## Capitolul 13.

### TRADUCTOARE DE UMIDITATE

Umidimetrele realizează măsurarea umidității solidelor, lichidelor și exprimă conținutul de apă a materialelor în două forme, la care se folosește masa materialului umed și masa materialului uscat. Umiditatea se exprimă sub două forme:

- umiditate absolută 
$$U_a = \frac{m_h - m_u}{m_u} \cdot 100 [\%] \quad (13.1)$$

- umiditate relativă 
$$U_r = \frac{m_h - m_u}{m_h} \cdot 100 [\%] \quad (13.2)$$

Metoda cea mai precisă este determinarea acestor mase prin cântărire, dar metoda este greoaie și lungă.

Măsurarea umidității se face pe baza modificării unor proprietăți fizice, datorită umezelii. Astfel metodele de măsurare se bazează pe variația rezistivității, variația capacității sau variația gradului de atenuare a microundelor.

#### 1. Traductoare rezistive

Principiul de măsurare se bazează pe scăderea rezistenței materialului cu creșterea conținutului de apă. De obicei umiditatea variază între 2-30%, domeniu în care se poate scrie relația:

$$\log R = a - b U_r \quad (13.3)$$

unde  $a$  și  $b$  sunt constante de material,  
 $R$  este rezistența materialului,  
 $U_r$  este umiditatea relativă.

Traductoarele sunt construite din doi electrozi între care materialul cercetat constituie rezistența de măsurat. Forma, dimensiunea electrozilor respectiv distanța dintre ele este foarte variată.

Cerințele specifice impuse celulelor de măsurare sunt:

- rezistență proprie foarte constantă,
- rezistență între electrozi foarte mare pentru a nu influența măsurarea probelor aproape uscate care au rezistența cuprinsă între  $10^{11} - 10^{13} \Omega$ ,
- reproductibilitatea condițiilor de măsurare și rezultatului.

Pentru evitarea polarizării materialelor, care se comportă ca materiale cvasidielectrice, măsurarea se face în c.a. folosind schemele de măsurare ohmmetrice și megohmmetrice.

Precizia de măsurare este cuprinsă între 0,5 – 1%. Aceste tipuri se folosesc mai ales în industria lemnului.

#### 2. Traductoare capacitive

Aceste tipuri de traductoare au o aplicabilitate mai mare în industrie. Funcționarea lor se bazează pe modificarea capacității unui condensator având ca dielectric materialul al cărui umiditate se măsoară. Datorită absorbției de apă se modifică permitivitatea dielectrică



relativă  $\epsilon_r$ , deoarece valoarea permitivității relative al apei ( $\epsilon_r=81$ ) este mult mai mare ca cea a materialelor dielectrice naturale. Mărind permitivitatea se mărește capacitatea condensatorului care folosește acest dielectric.

Măsurarea variației de capacitate se poate face prin mai multe metode.

Folosirea unui circuit rezonant

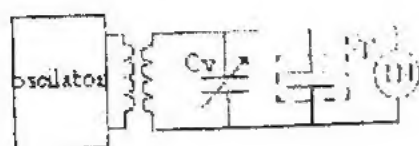


fig. 13.1

Condensatorul de măsură  $C_T$  este parte integrată al unui circuit rezonant, alimentat prin cuplaj magnetic de la un oscilator de frecvență mare. Condensatorul variabil  $C_V$  se folosește pentru aducerea circuitului la rezonanță. La introducerea materialului umed între armăturile condensatorului  $C_T$  se modifică capacitatea totală și se produce dezechilibrul circuitului oscilant. Cu ajutorul capacității  $C_V$  se restabilește rezonanța, iar tensiunea măsurată pe bornele condensatoarelor este proporțională cu variația de capacitate, respectiv cu umiditatea. Capacitatea variabilă se poate etalona direct în unități de umiditate.

Folosirea unor circuite de amestec

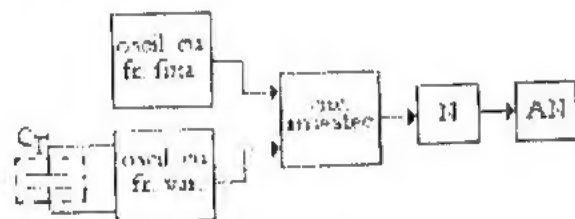


fig. 13.2

Aparatul constă din două circuite oscilante, unul de frecvență fixă, iar cealaltă de frecvență variabilă în funcție de umiditatea materialului care se introduce între armăturile condensatorului  $C_T$ . Prima etapă a măsurării oscilatoarelor se aduc la aceeași frecvență de rezonanță. Circuitul amestec scade frecvențele de oscilație.

La modificarea frecvenței de oscilație a oscilatorului 2, circuitul de scădere furnizează la ieșire un șir de impulsuri al cărei frecvență este egală cu modificarea de frecvență. Impulsurile sunt numărate în unitate de timp și se afișează corelat cu umiditatea.

Folosirea unei punți de c.a.

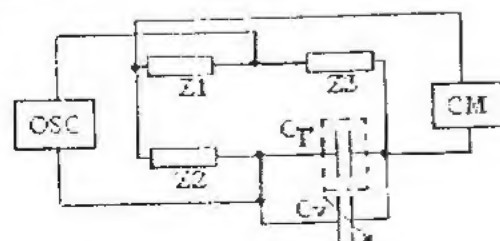


fig. 13.3

Celula de măsurare face parte dintr-o punte de c.a. alimentat de la un oscilator. Punte poate să lucreze în echilibru, caz în care se folosește un indicator de nul, echilibrul se restabilește prin capacitatea variabilă  $C_V$ , care se etalonează în unități de umiditate.

Punte poate să funcționeze în dezechilibru, furnizând o tensiune de dezechilibru

### 3. Traductoare cu microunde

Principiul care stă la baza funcționării acestor tipuri de traductoare este variația gradului de atenuare a microundelor în materiale umede. Fenomenul de absorbție a microundelor în materiale umede este mai accentuat pe domeniul lungimilor de undă cuprinsă între 1mm și 1m.

Aparatul este alcătuit dintr-un emițător de înaltă frecvență și un receptor, între care se așează materialul de studiat. Receptorul determină gradul de atenuare a microundelor care depinde de gradul de umiditate al materialului, și ieșirea este etalonat direct în grade de umiditate.

Măsurarea gradului de umiditate a gazelor se face cu higrometre. Umiditatea se definește în acest caz cu relațiile:

$$\bullet \text{ umiditatea absolută } U_a = \frac{m}{V} \quad (13.4)$$

$$\bullet \text{ umiditatea relativă } U_r = \frac{m}{m_h} \cdot 100 [\%] \quad (13.5)$$

unde  $m_h$  este masa vaporilor de apă  
 $m$  este masa vaporilor,  
 $V$  este volumul gazului.

Toate acestea sunt determinate în aceeași condiții de temperatură, presiune și același volum.

Pentru aer umiditatea relativă (UR) se exprimă prin:

$$UR = 100 \cdot \frac{e}{E} \quad (13.6)$$

unde  $e$  este tensiunea actuală a vaporilor de apă,  
 $E$  este tensiunea maximă a vaporilor de apă la saturație. Ambele la aceeași temperatură.

Higrometrele se realizează cu traductoare rezistive, cel mai frecvent, și se bazează pe modificarea rezistivității gazului, care este de obicei izolator, deci are rezistivitate foarte mare.